

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Strojírenská technologie
zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

STUDIE ZHODNOCENÍ VRATNÉHO POLYMERNÍHO ODPADU

STUDY EVALUATION OF POLYMERIC RETURNS

Petra Červinková

KSP - TP - B11

Vedoucí bakalářské práce: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld - *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*

Ing. Jiří Frydrych – *Valeo Autoklimatizace
s.r.o, Rakovník*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	59
Počet tabulek	14
Počet obrázků	28
Počet příloh	4

Datum: 26. 5. 2006

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Bakalář: Petra Červinková

Téma práce: Studie zhodnocení vratného polymerního odpadu

Study evaluation of polymeric returns

Číslo BP: **KSP - TP - B11**

Vedoucí BP: doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld – TU v *Liberci*

Konzultant BP: Ing. Luboš Běhálek – *TU v Liberci*

Ing. Jiří Frydrych – *Valeo Autoklimatizace s.r.o,*
Rakovník

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá zhodnocením ekonomické návratnosti při recyklaci vratného polymerního odpadu u vybraného materiálu, a dále hodnotí vliv recyklátu na mechanické a reologické vlastnosti výrobku. Hodnocení je provedeno vzhledem k množství recyklátu v panenském materiálu i k podmínkám ovlivňujícím opětovné využití polymerního materiálu.

Abstract:

The bachelor work evaluates the economic return by recycling of the polymeric returns from the chosen material. It evaluates the influence of recycled material on mechanical and reological character of the final product. The evaluation appears from the quantity of polymeric returns in the virgin material and from conditions influencing the reuse of polymeric material.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 26. května 2006

.....
Petra Červinková
Kamenice 12
294 04 Dolní Bousov

Poděkování:

Mé poděkování náleží především mým rodičům, kteří mi svojí podporou ve všech ohledech umožnili studium na TU v Liberci.

Dále bych chtěla poděkovat členům KSP na oddělení tváření kovů a plastů, jmenovitě doc. Dr. Ing. Petru Lenfeldovi a Ing. Frydrychovi z firmy Valeo Autoklimarizace, s.r.o za cenné rady a všestrannou pomoc.

Zvláštní poděkování patří Ing. Luboši Běhálkovi za jeho dohled nad zpracováváním bakalářské práce a všechen čas věnovaný řešení problematiky této studie.

OBSAH

1 ÚVOD	9
2 TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1 Možnosti recyklace	13
2.1.1 Surovinová recyklace	14
2.1.2 Chemická recyklace	14
2.1.3 Energetická recyklace	15
2.1.4 Materiálová recyklace	15
2.2 Rozdělení a zpracování odpadu	16
2.2.1 Mletí a drcení	17
2.2.2 Granulace	18
2.3 Formy organizované recyklace	21
2.3.1 Podniková recyklace	21
2.3.2 Mezipodniková recyklace	24
2.4 Směsi polymeru s recyklátem	25
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
3.1 Ekonomická analýza	27
3.1.1 Rozbor dodavatele A	28
3.1.2 Rozbor dodavatele B	33
3.2 Validační plán z hodnocení vratného odpadu	36
3.3 Charakteristika měřeného materiálu	37
3.4 Výroba zkušebních vzorků	38
3.5 Metody hodnocení mechanických vlastností	41
3.5.1 Hodnocení tahových vlastností	41
3.5.2 Hodnocení ohybových vlastností	44
3.5.3 Hodnocení vrubové houževnatosti	46
3.6 Hodnocení zabíhavosti materiálu spirálovou zkouškou	48
4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE	51
4.1 Vyhodnocení ekonomické analýzy	51
4.2 Vyhodnocení mechanických vlastností	52
4.2.1 Tahové vlastnosti	52
4.2.2 Ohybové vlastnosti	54
4.2.3 Vrubová houževnatost	55
4.2.4 Spirálová zkouška zabíhavosti	55
5 ZÁVĚR	57
LITERATURA	59
PŘÍLOHY	

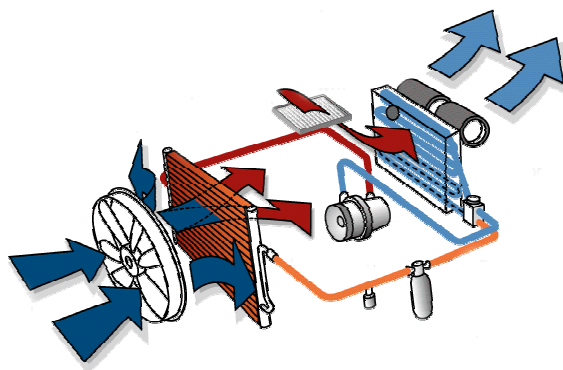
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PS		polystyren
PMMA		polymethylmetakrylát
PVC		polyvinylchlorid
PP		polypropylen
POM		polyoxymetylen
PA6		polyamid 6
PA66		polyamid 66
PA66-G30		polyamid 66 s 30% skelných vláken
$T_{I,II,III}$	[°C]	teploty topných těles tavicí komory
T_{tryska}	[A]	teplota trysky
t_{s1}	[s]	doba přísunu pohyblivé části formy
t_{s2}	[s]	doba přísunu tavicí komory
t_v	[s]	doba vstřikování
t_{ch}	[s]	doba chlazení po plastikaci materiálu
t_d	[s]	doba dotlaku
t_{pl}	[s]	doba plastikace
t_m	[s]	doba manipulace
t_c	[s]	doba celého cyklu
a_{cU}	[kJ.m ⁻²]	rázová houževnatost Charpy
a_{cA}	[kJ.m ⁻²]	vrubová houževnatost Charpy (N-tvar rubu)
E_n	[J]	nominální energie rázového kladiva
W	[J]	absorbovaná energie
v	[mm.min ⁻¹]	rychlost zkoušení
p_{vstr}	[MPa]	tlak při vstřikování v dutině formy
σ_B	[MPa]	napětí v tahu při přetržení
σ_M	[MPa]	napětí v tahu na mezi pevnosti
σ_y	[MPa]	napětí v tahu na mezi kluzu
ε_M	[%]	poměrné prodloužení na mezi pevnosti
ε_B	[%]	poměrné prodloužení při přetržení
σ_f	[MPa]	napětí v ohybu
σ_{fM}	[MPa]	napětí v ohybu na mezi pevnosti
ε_f	[%]	deformace ohybem

σ_{f1}	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f1}=0,05\%$
σ_{f2}	[MPa]	napětí v ohybu při deformaci $\varepsilon_{f2}=0,25\%$
E_f	[MPa]	modul pružnosti v ohybu
L	[mm]	průměrná délka Archimedovy spirály

1 ÚVOD [1], [2]

V průmyslové výrobě i mimo ni byly do poloviny devatenáctého století využívány přírodní materiály. Používalo se především dřevo, sklo, železo či litina. I přes jistou mnohostrannost se objevovaly negativní stránky využitelnosti těchto materiálů. K nejčastějším se řadí především vyšší hustota, hmotnost (např. u železa a litiny), špatná odolnost proti chemikáliím, mikroorganismů i vnějším vlivům. Významným pokrokem pro tehdejší i dnešní společnost se stal objev prvního polymerního tvarovatelného materiálu z nitrátu celulosy Alexandrem Parkesem z roku 1862. Do dnešní doby pronikly polymerní materiály do veškerých oborů lidské činnosti. Svoji významnou roli získaly hlavně díky malé hustotě, odolnosti vůči chemikáliím, dobré tvarovatelnosti za tepla atd. S rostoucím použitím polymerních materiálů současně roste i množství vzniklého odpadu, které je nutno odstranit, a zároveň i zvýšená potřeba surovin pro jejich výrobu. Stává se tedy jistou nutností zajistit především ekonomickou efektivnost výroby a nalézt možnosti veškerých eventuálních úspor výroby bez negativního vlivu na životní prostředí. Tyto požadavky vedou výrobce k úvahám o možnosti využití nefunkčních výrobků a technologického odpadu k opětovnému zpracování, nebo-li ke zvažování recyklace. Problémem recyklace, resp. studií zhodnocení vratného polymerního odpadu, z ekonomického i technologického hlediska (zpracovatelnosti materiálu, užitných vlastností výrobku se zabývá tato bakalářská práce, jenž svým zaměřením i pojetím doplňuje odborné studie z této oblasti. Téma bakalářské práce vzniklo na základě spolupráce TU v Liberci s firmou Valeo Autoklimatizace s.r.o. Rakovník. Dceřiná společnost VALEO AUTOKLIMATIZACE s.r.o. byla založena v roce 1996 jako první zástupce francouzské firmy Valeo v České republice. Je výrobcem klimatizačních a topných systémů (viz obr. 1.1) pro automobily VW, Audi, Seat, Škoda, Porsche, Renault, Opel, BMW, Ford a další.

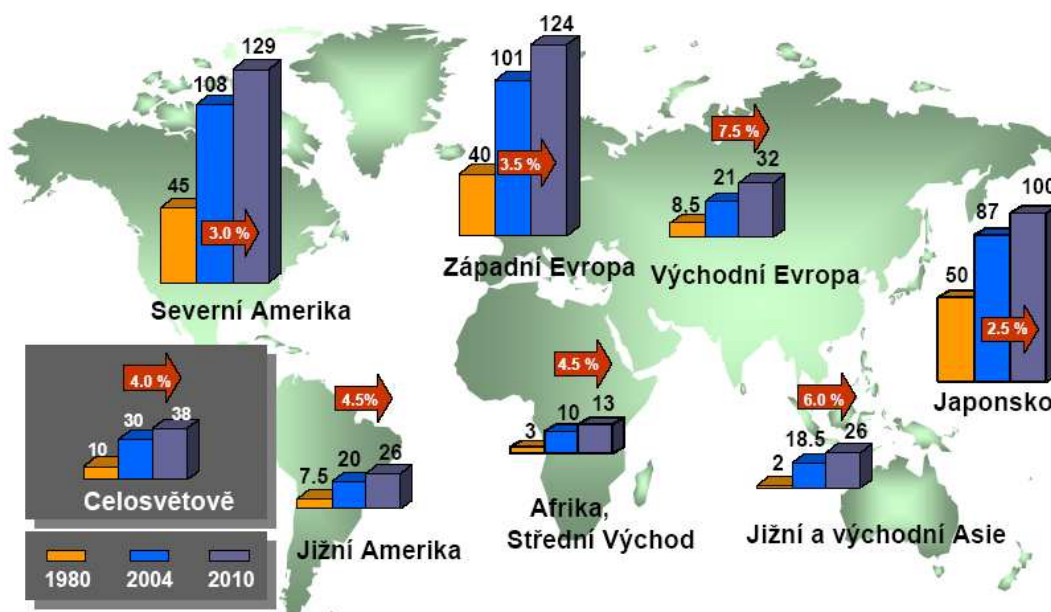


Obr. 1.1 Schéma klimatizační jednotky

2 TEORETICKÁ ČÁST [3], [4], [5], [6], [7]

Velký nárůst vývoje nových materiálů poznamenal 20. století. Mezi tyto nové materiály se řadí především nekovové, synteticky upravené materiály. Dochází k rychlému ujímání se těchto druhů materiálů a celkový rozvoj světové výroby polymerů se začíná vyznačovat mimořádnou dynamikou. Na silný vzestup výroby i spotřeby polymerních materiálů poukazuje vývojový trend a zaujetí jejich významného místa ve všech oborech techniky.

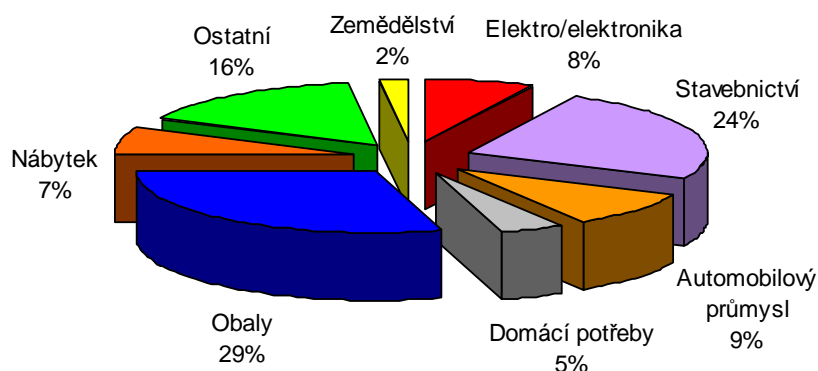
Z nekovových materiálů patří polymery k nejvýznamnějším a příčiny vedoucí k rychlému zvyšování výroby a spotřeby (viz obr. 2.1) polymerů je nutno hledat především v samotných vlastnostech těchto materiálů, kterými mnohdy předčí i klasické materiály. Jedná se především o jejich: nízkou hustotu, dobré mechanické a technologické vlastnosti, odolnost vůči korozi i chemickým účinkům, dobré tepelné a elektrické izolační vlastnosti.



Obr. 2.1 Vývoj celosvětové spotřeby plastů na osobu od roku 1980 do 2004 s prognózou na rok 2010 [6]

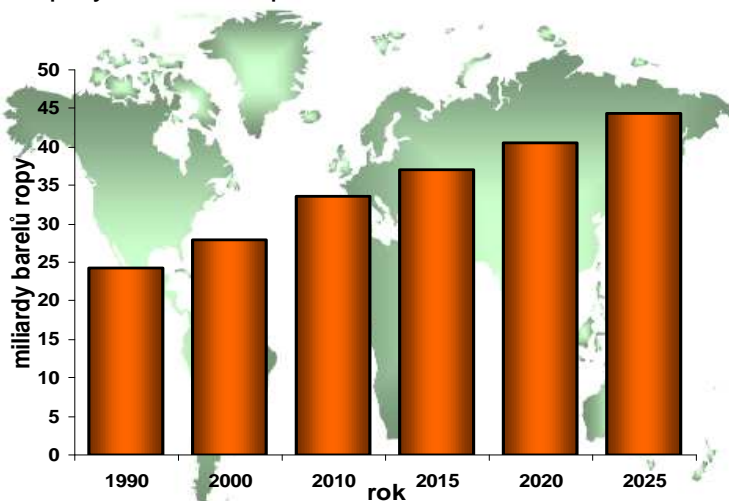
Polymery jako nové, progresivní a konstrukční materiály specifických vlastností se snadno i energeticky efektivně zpracovávají tepelným tvářením. Jejich naprostá většina se využije pro výrobu technických výrobků (viz obr. 2.2), o čemž svědčí i skutečnost, že se strojírenství podílí jednou třetinou na

spotřebě polymerních materiálů v průmyslově vyspělých zemích. Z obr. 2.2 je patrné, že stavebnictví, obaly, elektronika a automobilový průmysl se významně podílí na celosvětové spotřebě polymerních materiálů, avšak to se v celkovém důsledku projevuje i v řadě problémů týkajících se odpadů, což má za následek i ekologický dopad na životní prostředí a pro samotné podniky ekonomickou zátěž.



Obr. 2.2 Světová spotřeba plastů dle použití [6]

Stále se snižující zásoby železných rud, jakožto i nedostatek jiných surovin, přispívá k zvyšujícímu se zájmu výrobců o využívání polymerů. Samotný rozvoj výroby i aplikace polymerních materiálů je podporován příznivou surovinovou základnou, jenž je založená na ropě. Víme však, že žádné přírodní ložisko není nevyčerpatelné. Podle některých studií by díky prognózám spotřeby ropy (viz obr. 2.3) měly její světové zásoby vydržet už jen málo přes 40 let. Z tohoto důvodu je uvažováno i o jiných alternativních způsobech získávání polymerního materiálu. Jednou z možností je také opětovné využití polymerního odpadu.



Obr. 2.3 Prognóza celosvětové spotřeby ropy [7]

K zamyšlení se nad možností využití recyklace však nutí v současnosti výrobce především požadavek na snížení nákladů spojených s výrobou polymerního dílu, případně snížení podílu panenského materiálu při jeho výrobě, neboť vývojový trend cen panenského materiálu má stále stoupající tendenci, jež je zapříčiněna rostoucí cenou ropy (viz obr. 2.4) a velkým zájmem o výrobky z polymerních materiálů.



Obr. 2.4 Vývoj ceny ropy od roku 1995 do 2005 [6]

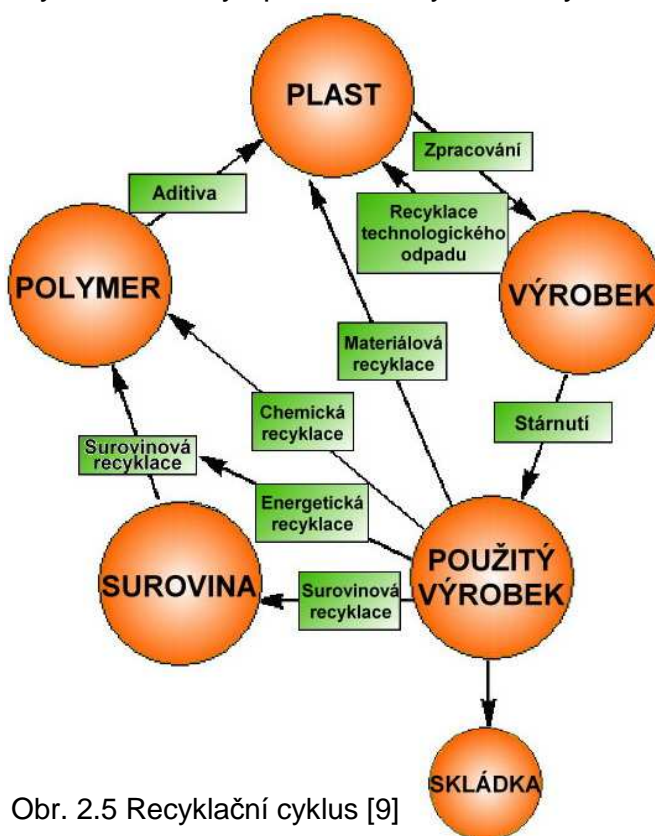
Polymerní materiály se staly nedílnou součástí světových materiálových rozvah. Pevné místo polymerů jako konstrukčních materiálů si vyžaduje dobré technické znalosti, neboť konstrukce výrobků z polymerních materiálů klade vysoké nároky na znalosti vlastností a chování těchto materiálů. Je potřebné být seznámen s komplexními znalostmi nejen o vlastnostech materiálů, ale také o technologičnosti konstrukce výrobku a řešení nástrojů tak, aby se dosáhlo vysoké kvality výrobku s minimálními náklady na jejich výrobu.

2.1 Možnosti recyklace [8], [9]

Při samotné výrobě polymerních dílů dochází ke vzniku technologického odpadu, což jsou vadné výrobky, přetoky, vtokové soustavy při vstřikovávání apod. Opětovné zpracování technologického odpadu spočívá v jeho rozdrcení a případně v následné regranulaci. Drť i regranulát se použije zpět do výroby. V odborné literatuře se uvádí, že přidání 5% – 15% takového materiálu by nemělo ovlivnit mechanické vlastnosti konečného výrobku. Ovšem v polymerním materiálu může dojít vlivem jeho používání k nežádoucím změnám způsobených vlivem vnějších faktorů, mezi které lze zařadit teplo, světlo či mechanické zatížení, což má za následek stárnutí plastů a změnu jeho původních vlastností. Takovéto procesy stárnutí výrobků mohou v konečném důsledku zabránit jeho opětovnému použití, neboť by se nedosáhlo požadovaných vlastností u nových výrobků z recyklovaného materiálu. V neposlední řadě je nutné zmínit i možnou kontaminaci materiálu nečistotami.

Recyklace nebo-li opětovné využití materiálu je postup, kterým lze dospět k využití energie i materiálové podstaty výrobku po ukončení jeho životnosti. Nejvyšší ekonomický efekt tedy přináší recyklace výrobků obsahujících materiály s velkým rozdílem mezi energetickými nároky na jejich výrobu a energetickou náročností jejich opakovaného zpracování. U polymerních výrobků existují tyto možnosti recyklace (viz obr. 2.5):

- Surovinová recyklace
- Chemická recyklace
- Energetická recyklace
- Materiálová recyklace



Obr. 2.5 Recyklační cyklus [9]

2.1.1 Surovinová recyklace

Surovinová recyklace se vztahuje na silně znečištěné směsi různorodých polymerních materiálů, z nichž není prakticky téměř možné získat materiálovou recyklací kvalitní materiál, než vlastní surovinový základ. Principem surovinové recyklace je teplotně destrukční proces rozkládající polymerní složky vstupní suroviny na směs plyných a kapalných uhlovodíků. Výstupními produkty jsou tedy energeticky využitelný plyn a směs kapalných uhlovodíků, jež lze využít jako topné oleje nebo petrochemickou surovinu. Hlavní předností surovinové recyklace jsou nízké nároky na kvalitu vstupního polymeru a širokou využitelnost vzniklého syntetického plynu v chemickém průmyslu. Technologicky i ekonomicky výhodné jsou postupy využívající společné zpracování odpadních polymerů s uhlím, kdy se využívá schopnosti uhlí předávat vodík.

2.1.2 Chemická recyklace

Náchylnost některých polymerů k degradaci při opakovaném zpracování komplikuje technologické provedení recyklace a významně zhoršuje kvalitu recyklátu. V takovém to případě se stává účelným východiskem chemická recyklace. Je založena na chemickém rozpadu polymeru na produkty o výrazně nižší molární hmotnosti, či až na monomerní jednotky s následným dalším chemickým zpracováním takto získané suroviny. Příkladem nejjednodušší chemické recyklace je tepelná depolymerace určená především pro polymery, jež při vysokých teplotách podléhají degradaci (PS, PMMA). Tento způsob se zakládá na odštěpování monomerních jednotek z konců polymerních řetězců. Monomery se po vyčištění opět polymerují na panenský polymer prvotní kvality. Výhodou chemické recyklace jsou podstatně nízké nároky na vstupní čistotu odpadního materiálu. Naproti tomu se však nevýhodou stávají poměrně vysoké investiční náklady na technologické zařízení a praktická uskutečnitelnost je pouze v podmínkách chemického průmyslu ve spojení s již existujícími procesy. Investice do výstavby specializované recyklační jednotky je ekonomicky přijatelná jedině v případě bezpečného zajištění dostatečného objemu vstupní suroviny.

2.1.3 Energetická recyklace

Energetická recyklace je vhodná pro jinak nevyužitelný plastový odpad. Dochází ke spalování odpadu ve speciálně zkonstruovaných topeništích, obvykle společně s uhlím, a využívá se tepelné energie vznikající při tomto postupu. Možnosti vzniku toxických plyných látek při spalování polymerů se předchází vhodně navrženými topeništi a technologickými podmínkami. Ekologicky závadné produkty spalování jsou vhodně neutralizovány zejména na pevnou formu (např. oxidy dusíku z polyamidu jsou převáděny na nezávadné dusíkaté soli).

2.1.4 Materiálová recyklace

Poslední možností recyklace polymerního odpadu, již se v této práci věnuje pozornost, je materiálová recyklace. Tento způsob je zvláště vhodný pro termoplasty. Zahrnuje postupy, které spočívají v mletí použitých výrobků za vzniku drtě. Následuje sušení a případná regranulace. Takto získaný recyklát lze přidávat k panenskému materiálu a následně opětovně zpracovávat. Je-li odpad kontaminován, je nezbytné i mytí případně plavení drtě. Obecně je materiálová recyklace založena na dodávání tepelné a mechanické energie pro přetvoření odpadního materiálu na nový materiál s mechanickými i estetickými vlastnostmi podobnými panenskému polymeru. Vyhovuje-li recyklát po stránce jakosti, je jeho následné použití ekonomicky efektivní. Kvalita recyklátu je ovšem podstatně závislá na charakteru vstupní suroviny. Získaná kvalita klesá s ohledem na:

- typově tříděnou vstupní surovinu
- druhově tříděnou vstupní surovinu
- částečně tříděnou vstupní surovinu
- netříděnou vstupní surovinou

Typem je myšleno označení polymeru obchodním názvem, se zakódovanými vlastnostmi, aplikačními možnostmi a zpracovatelností. Druhově tříděný polymer se rozděluje dle chemického složení a molekulární struktury. Jednodruhová recyklace, neboli druhově a typově tříděná, je široce využívána. Tento typ odpadního materiálu je tvořen granulemi nevyhovujících rozměrů, vtokovými soustavami, ořezy hran a výrobky vyřazenými vstupní kontrolou. Po třídění suroviny následuje již výše

uvedené mletí, regranulace a opětovné zpracování na požadovaný výrobek. Odpadní polymery z komunálního sběru nebývají ovšem tříděné. Proto je žádoucí využít technologii zvláště vyvinutou pro zpracování směsného odpadu, při níž dochází k míchání směsi polymerů v tavenině ve speciálním extruderu s vysokou hnětací účinností a následně k vytlačování taveniny do formy. Tímto způsobem lze snadno získat výrobky velkých objemů, ale s ne příliš dobrými mechanickými vlastnostmi.

2.2 Rozdělení a zpracování odpadu [10], [11], [12], [13]

Požadavky spojené s primárními surovinovými zdroji (např. cenu, množství) lze snížit zaváděním bezodpadových technologií spočívajících v zpětném navrácení odpadu do výroby. Hlavním důvodem, který vede výrobce k zpracování odpadu a recyklaci neshodných výrobků, se do jisté míry stává vysoká cena plastů. Samotnému zpracování odpadu musí předcházet pečlivé roztřídění dle druhu a odstranění cizího materiálu, aby nemohlo dojít ke kontaminaci. V odlišném případě je nutno najít jiný způsob likvidace polymerního odpadu. Přistoupíme-li k samotné výrobě, je možné rozdělit vznikající odpad na technologický a užitkový. Do technologického odpadu spadají vtoky, rozváděcí kanály, odstříky, aj. V zájmu každého výrobce by mělo být vrácení tohoto odpadu zpět do výroby, jako vstupního materiálu, s ohledem na energetickou náročnost výroby polymeru (na 1t plastu se spotřebuje 2,5t ropy). Tato kategorie odpadu poskytuje relativně hodnotný materiál, jenž je srovnatelný s doposud nezpracovaným materiálem. Zatím co užitný odpad zahrnuje výrobky po uplynutí své funkční doby. V této kategorii se vyskytují polymery více či méně znehodnoceny stárnutím a bývají kontaminovány. Vlastní zpracování odpadu lze rozdělit dle stupně kontaminace:

- čistý tříděný odpad vznikající přímo při zpracování
- znečištěný tříděný odpad
- čistý netříděný odpad
- znečištěný netříděný odpad

Nezbytným předpokladem pro účelné využití polymerního odpadu je po technologické i ekonomické stránce dobrá znalost výroby a zpracování výrobků. Je potřebné si uvědomit původ odpadu, a zda byl materiál jen drcený či drcený a následně regranulovaný. Používání drceného polymerního odpadu (drtě) k opětovnému zpracování je výhodné u tepelně citlivých materiálů, jelikož nedochází k dalšímu tepelnému namáhání při regranulaci. Nevýhodou se však stává rozdílná velikost drcených nebo mletých částic a zvýšený prachový podíl v drti. Regranulát je možné použít tam, kde nedochází k ovlivnění požadovaných vlastností materiálu předchozím tepelným namáháním. Z pohledu tvaru vstupních částic je regranulát ekvivalentní k původnímu materiálu, avšak vyžaduje dokonalé



Obr. 2.6 Gravimetrický směšovač [13]

vysušení namletého odpadu a je značně energeticky náročný. Dojde-li k samotnému zpracování polymerního odpadu, jsou v současné době k dispozici zařízení umožňující zpracování odpadu na recyklát, resp. regenerát v požadované kvalitě za přijatelné náklady, tj. mlýny, regranulační linky, manipulátory, mísiče (viz obr. 2.6), atd.

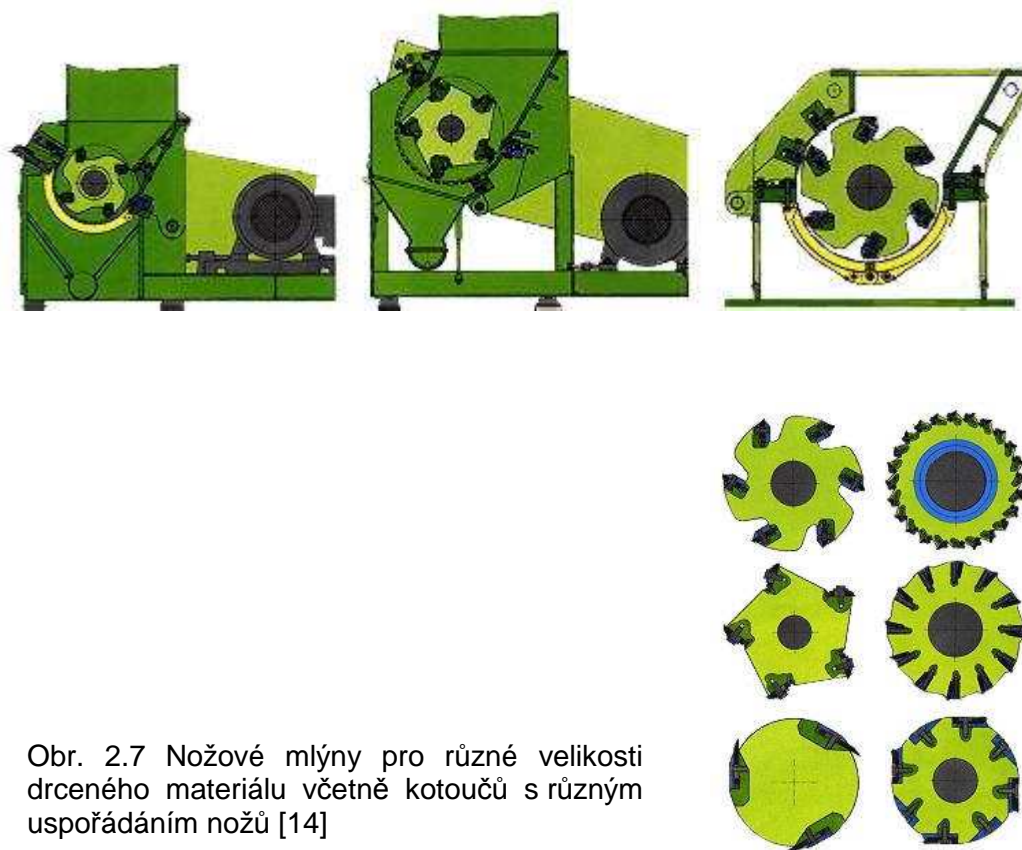
2.2.1 Mletí a drcení [14]

Mletí a drcení má hlavní význam pro zpracování technologického odpadu z termoplastů. Rozemletý materiál se obvykle zpracovává na vytlačovacím stroji k získání granulátu. Ten se následně mísí s panenským materiálem v určitém poměru nebo se zpracuje samostatně. Postup, při němž je materiál rozměňován na prášek nazýváme většinou mletím, drcením rozumíme získávání větších částic (tj. drtě). Rozdíl mezi mletím a drcením není výrazný, a proto dochází v praxi k častému zaměňování těchto pojmů.

K mletí (drcení) je využíváno tlaku, řezu či smyku, přičemž síla může působit klidně, resp. nárazem. Pro volbu způsobu mletí (drcení) jsou důležité

fyzikální vlastnosti mletého materiálu, či-li tvrdost a charakter lomu, jakožto i cíl, jehož chceme dosáhnout (např. tvrdý materiál se lépe rozmělní narázem). K mletí (drcení) se používají různé druhy mlýnů.

Mlýny (drtiče) slouží k rozdrcení průmyslového odpadu, jako jsou plasty, pryž, aj. Dochází tím k usnadnění jeho dalšího zpracování či likvidaci. Používají se různé typy mlýnů např. nožový, kladivový, třecí, talířový či kulový. Nejčastěji používaným je nožový mlýn (viz obr. 2.7). Princip mletí na tomto mlýnu spočívá ve stříhání materiálu pracovními nástroji (noži) uloženými radiálně na statoru i přímo na rotoru stroje. Velikost a tvar výsledné drti je dána velikostí otvorů v sítu, jež je umístěno pod pracovní drahou rotoru.



2.2.2 Granulace [15], [16]

Posledním krokem při zpracování technologického odpadu, pokud chceme získat regenerulát, je granulace, jejíž výsledný materiál má tvar granulí vhodných pro další zpracování. Z praktického hlediska je žádoucí,

aby došlo u částic materiálu v plastikační komoře stroje k rovnoměrnému prohřátí a tavenina tak byla homogenní. Lze předpokládat, že by nestejnomyšné velikosti částic v důsledku nerovnoměrného prohřátí materiálu měly negativní vliv na homogenitu taveniny a tím docházelo k ovlivňování mechanických vlastností výstřiku. Je proto žádoucí docílit stejnoměrné velikosti částic i granulátu a drtě, což umožňuje používání sít, jimiž se odstraní nechtěná část drtě, resp. granulátu. Přednosti granulí spočívají v nenáročném míchání např. s jinými materiály či barvami a v jejich nízké sypné hmotnosti, což vede k dobrému dávkování. Získá-li se granulát (viz obr 2.8) z již jednou zpracovaného materiálu, nazývá se regenerátem. Mezi běžné tvary granulí se řadí kuličky, krychličky, čochy a válečky.



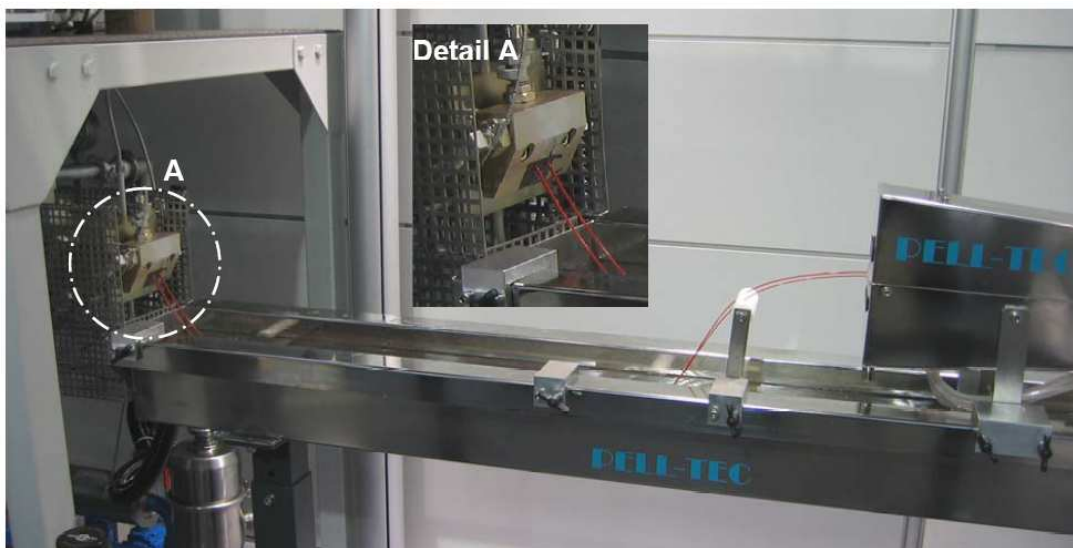
Obr. 2.8 Běžné tvary granulátu [15]

Pro výrobu regranulátu z polymerního odpadu, ale také pro výrobu granulátu s příměsemi různých aditiv (např. koncentráty barviva, plniva, retardéry proti hoření apod.), se používají různé **regranulační linky**:

- Technologické linky pro granulaci ve vodním prstenci: používají se pro výrobu regranulátu a také pro produkci granulátů s příměsemi různých aditiv jako jsou koncentráty barviv, plniva, retardéry proti hoření apod. Ve zvýšené teplotě a následkem třecích sil otáčejícího se šneku v komoře nastupuje plastifikování hmoty a její spojení v homogenní, stejnorodou taveninu, řezání vytlačěného plastu probíhá za tepla bezprostředně na desce granulační hlavy s otvory a polymer se mění na granulát. Po odříznutí postupuje granulát chladicí komorou až do sušičky. Po vysušení následuje rozčlenění podle velikosti granulí na sítích.
- Technologické linky pro granulaci metodou řezání za studena: umožňují granulaci taveniny v tuhém stavu po jejím ochlazení. Jedná se o vhodný způsob pro veškeré termoplasty s výjimkou velmi křehkých polymerů.

Zvýšenou teplotou, způsobenou topnými pásy, tlakem a následkem třecích sil otáčejícího se šneku v komoře, nastává plastikace hmoty a její spojení v homogenní, stejnorodou taveninu. Ta je následně vytlačována šnekem do několika otvorové vytlačovací hlavy, z níž tavenina vystupuje v podobě strun za účelem ochlazení a ochrany proti slepení chladicí vodní vanou. V závěrečné fázi jsou struny (viz obr. 2.9) dopraveny posuvnými válci k válcové fréze, kde jsou řezány na požadovanou velikost. Celý cyklus se zakončuje rozdělením granulátu podle velikosti na sítěch.

- Linky pro výrobu granulátu řezáním za horka: určeny pro výrobu granulátu z PVC ve formě prášku. Prášek projde plastifikací až do granulační hlavy, jenž je zahřívána topnými tělesy. V granulační hlavě dochází k formování granulátu, který je v plastickém stavu. V přední části hlavy se nachází deska s otvory, kde jsou granule upraveny na požadované rozměry. Poté je granulát pneumaticky dopravován z hlavice rourovým vedením do chladicího zařízení a ochlazován na skladovací teplotu.



Obr. 2.9 Vytlačování strun k výrobě granulátu, A-detail otvorové hlavice [16]

2.3 Formy organizované recyklace [17], [18]

Výrobní způsoby určené ke zpracování polymerního odpadu vedou k vytváření řetězce postupů, jež spolu nemusí často místně ani časově souviset. Účelně lze rozeznávat dvě základní formy organizované recyklace technologických odpadů:

- podniková recyklace
- mezipodniková recyklace

Případně je možné uvažovat i o další formě a to recyklaci opotřebovaných výrobků, které již ztratily svoji užitnou hodnotu.

Vzhledem k tématu bakalářské práce jsou způsoby podnikové a mezipodnikové recyklace (popsané v následujících kapitolách) zaměřeny na technologii vstřikování, avšak v konečném důsledku není pro obě formy recyklace používaná technologie rozhodující.

2.3.1 Podniková recyklace

Odpady, jež vznikají výrobní činností, jsou při této formě recyklace využívány v tomtéž podniku jako vstupy do výrobních procesů. Ideálním případem, jenž tvoří rozhraní mezi recyklačními technologiemi, která je doplňkem technologického procesu a bezodpadovou technologií, je opakované využívání polymerního odpadu jako vstupu ve stejném výrobním procesu. Obvyklé bývá i opětovné využití odpadu v navazujících výrobních procesech. Podnikovou recyklací vzniká dynamicky se rozvíjející koloběh. Tedy po spolupůsobení více postupů zpracování odpadů (zachycení, oddělení, vytrídění a úprava) jsou odpady vznikající při výrobě opětovně využity. Jedním z hlavních aspektů využívajících podnikovou recyklaci, pokud se nejedná o znovu využití odpadu pomocí „uzavřeného cyklu recyklace“, se stává potřeba zajištění samostatného organizačního místa.

- Uzavřeným cyklem recyklace lze rozumět způsobu, při kterém se využívá cyklického zpracování odpadu. Recyklační jednotka, do níž spadá mlýn či drtič, manipulátory a dopravní zařízení pro polymerní odpad i drť, je umístěna přímo na vstřikovacím stroji. Jedná-li se o využití odpadu i z jiných strojů, je nutné zajistit dopravu odpadu ze všech

uvažovaných strojů na stroj s recyklační jednotkou. Ovšem pro umožnění takového to způsobu by měly být přímo v provozní hale uspořádány stroje organizačně tak, aby bylo dostupné využití manipulátorů, případně dopravních pásů sloužících pro dopravu vtoků, odřezků, atd. k recyklační jednotce bez narušování obsluhy a ostatní pracovní činnosti. Technologický odpad dopraví manipulátory přímo k recyklační jednotce, kde je následně opětovně zpracováván v mlýnu. Mlýn zde rozemele odpad na drť, jejíž velikost je stanovena pomocí sít a dopravním zařízením postupuje dále až k mísiči, jenž ji smísí s panenským materiálem v námi požadovaném procentuelním zastoupení. Vystává zde otázka, zda negativním aspektem na kvalitu výrobku, při užívání uzavřeného cyklu recyklace, nemůže být vstřikování taveniny, v které se nachází několikanásobně opětovně zpracovávaná drť (viz obr. 2.10). Jelikož dosud nebyla vypracována studie zabývající se vlivem opakovaně zpracovávaného odpadu na mechanické vlastnosti, lze se pouze domnívat, že by při vyšším počtu cyklů mohlo dojít ke zhoršení mechanických vlastností výrobku a nelze tak zaručit stejnou jakost všech vyrobených výrobků na téže stroji během procesu vstřikování.

Průchod materiálu strojem	Procentuelní složení dávky
0	100 ₍₀₎
1	20 ₍₁₎ / 80 ₍₀₎
2	4 ₍₂₎ / 16 ₍₁₎ / 80 ₍₀₎
3	0,8 ₍₃₎ / 3,2 ₍₂₎ / 16 ₍₁₎ / 80 ₍₀₎
4	0,2 ₍₄₎ / 0,6 ₍₃₎ / 3,2 ₍₂₎ / 16 ₍₁₎ / 80 ₍₀₎
5	0,04 ₍₅₎ / 0,12 ₍₄₎ / 0,64 ₍₃₎ / 3,2 ₍₂₎ / 16 ₍₁₎ / 80 ₍₀₎
6	0,01 ₍₆₎ / 0,02 ₍₅₎ / 0,13 ₍₄₎ / 0,64 ₍₃₎ / 3,2 ₍₂₎ / 16 ₍₁₎ / 80 ₍₀₎

Obr. 2.10 Recyklační pyramida [18]

Obr. 2.10 znázorňuje, jaké bude složení zpracovávané dávky materiálu po šesti opakovaných průchodech strojem a při poměru panenského

materiálu a drtě hmotnostním poměru 80:20. Nejprve zpracováváme 100% panenský materiál, z odpadu se vždy odebere 20% a přidá se k němu 80% panenského materiálu. Takto smíchaný materiál se znovu zpracovává. Tento postup se opakuje až k získání 0,01% šestkrát zpracovávaného recyklátu. Hodnota $100_{(0)}$ – označuje procentuelní množství materiálu, dolní index ukazuje, kolikrát bylo toto procentuelní zastoupení recyklátu opět zpracováno. Pokud bychom tedy uvažovali o uzavřeném cyklu recyklace, dávka by obsahovala 0,01% 6x zrecyklovaného odpadu, 0,02% 5x, 0,13% 7x, 0,64% 6x zrecyklovaného odpadu, atd.

Firma DuPont, která je výrobcem materiálu Delrin, ve svém manuálu popisuje vliv procenta recyklátu na vybrané mechanické vlastnosti v závislosti na počtu cyklů opakovaného použití, či-li na počtu průchodů materiálu Delrin vstřikovacím strojem. Test byl vykonán za účelem stanovení maximální přípustné procentuelní hodnoty recyklátu Delrinu při uzavřeném cyklu recyklace a je podrobně popsán v [16]. Test spočíval v deseti průchodech 100% a 50 hmotnostních % recyklátu strojem. V tab. 2.1 jsou znázorněny výsledky testu. **Pro běžnou praxi však firma DuPont doporučuje používání 20% recyklátu.**

Tab. 2.1 Vliv recyklátu na mechanické vlastnosti při deseti průchodech mat. strojem

vlastnost materiálu	100%recyklátu	50%recyklátu
tok taveniny	nárůst méně než 10%	nárůst méně než 2%
pevnost v tahu	bez změny	bez změny
vrubová houževnatost	snížení o 20%	snížení o 2%

- Mezi další formu podnikové recyklace patří otevřený cyklus. Používá se mlýn či drtič, jenž je oproti uzavřenému cyklu umístěn na zvláště vyhrazeném místě. Prvotním znakem se stává právě nalezení potřebného místa pro zařazení mlýnu přímo v provozní hale. Pokud není možné z prostorového hlediska zařadit mlýn přímo do haly, umístí se mimo provozní halu. Odpadní materiál je pomocí manipulátorů a dopravního systému postupně ukládán do přistavených kontejnerů, odkud se po jejich naplnění přesouvá k mlýnu a následně je rozemlet.

Takto připravenou drť (viz obr. 2.11) můžeme použít opět do výroby. Její manipulaci, od vzniku odpadu, až po příchod k příslušnému stroji, zajišťuje většinou příslušný pracovník. Avšak při tomto způsobu obsluhy materiálu nelze zajistit stálou čistotu bez možnosti kontaminace či přimícháním jiného odpadu, což může být převážně způsobeno selháním technické



Obr. 2.11 Recyklát (drcený materiál)

kázně. Tento způsob dopravy materiálu postačuje i pro mlýn umístěný mimo provozní halu, kde jinou možnost dopravy nelze využít. Jedná-li se o další způsob dopravy odpadu a následné drti ke stroji, může být využito i mechanického zařízení, kam lze zařadit hlavně strojové manipulátory a pásové zařízení, jež zajišťují uchopení a dopravu odpadu až k mlýnu. Z mlýna drť spadá přímo do kontejneru a poté je vhodnými podtlakovými mechanismy nasávána až k danému vstřikovacímu stroji, kde je přidávána v požadovaném poměru k panenskému materiálu. Vezmeme-li v potaz poslední nabízenou možnost dopravy drtě a odpadu, měli bychom si nezbytně uvědomit i negativní aspekty. Takovýto způsob je poměrně ekonomicky náročný v důsledku kapitálu vydaného za potřebné zařízení a nelze opomenout i jeho prostorovou náročnost. Velký význam zde proto sehrává již zmíněné nalezení vhodného místa k umístění mlýnu, ale zároveň pro kontejner a dopravní systém k němu spadající. Avšak jakožto i u výše uvedeného uzavřeného cyklu recyklace by nemělo dojít k opomenutí potřebného zajištění bezchybné obsluhy a veškeré ostatní pracovní činnosti.

2.3.2 Mezipodniková recyklace

V případě mezipodnikové recyklace dochází k zapojování více samostatných organizačních útvarů, podniků či jiných institucí do systému zabývajícím se zpracováváním a využíváním odpadů. Mezipodnikovou recyklaci lze považovat za efektivní metodu využívání vratného odpadu.

Jako vhodnější se ukazuje spolupráce několika podniků s odlišným výrobním programem, jež vede k vytváření koloběhu odpadů a druhotných surovin. Tímto odpadá hledání potřebného prostoru pro recyklační jednotku, nákup potřebného zařízení, finanční ohodnocení potřebných pracovníků, nezájmu o nabízené výrobky z opětovně zpracovaného odpadu či nezajištění stejné kvality u výrobku v porovnání s panenským materiálem. Ovšem náhrada tradičních surovin odpady získává s ohledem na rychlé pokroky vědy a techniky stále nové možnosti a vyhlídky do budoucna.

Mezipodniková recyklace **s jednoduchým koloběhem látek** vzniká tam, kde jsou odpady z výroby podnikem zabývajícím se jejich opětovným zpracováním upraveny a poté vedeny jako vstupy do podniků, v nichž tyto „odpady“ původně během výroby vznikaly. Po potřebné úpravě mohou být znovu požívány jako výchozí materiál pro podobné či stejné výrobky. Při takovém to způsobu využití odpadů vyvstává jako příznivý atribut především homogenita samotných polymerních odpadů, jednoduchá úprava i stejné či podobné vlastnosti vzhledem k prvotnímu materiálu.

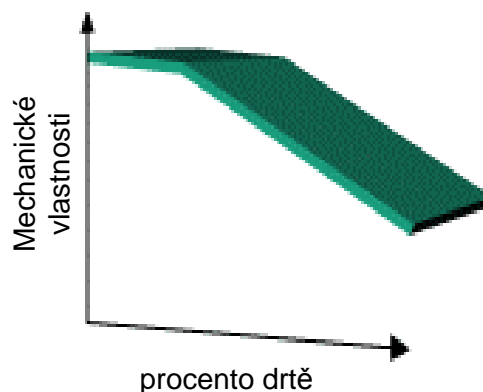
Naopak typická nutnost úpravy odpadu a jeho následné použití mnohdy k jinému účelu se objevuje při mezipodnikové recyklaci **se složitým koloběhem**, v němž je začleněno více podniků, odvětví i oborů. Jako žádoucí záměr se projevuje nezbytnost uzavřít tok látek do úplného cyklu, k čemuž slouží použití úpravárenských procesů, při nichž dochází k zpracovávání odpadů fyzikálními, chemickými nebo biologickými úpravami. Při mezipodnikové recyklaci se jedná především o realizaci dalšího a zpětného využívání odpadů, mimo rozsah jednoho výrobního podniku.

2.4 Směsi polymeru s recyklátem [19]

Oblasti výzkumu se již delší dobu věnují možnostem ovlivnění vlastností vstřikovaných výrobků využitím recyklovaného materiálu. Zabývají se především vlivem recyklátu na kvalitu a bezpečnost produktů. Podle celosvětově působící společnosti Underwriters Laboratories ovlivňuje procento drtě polymerního odpadu smíchané s panenským materiálem kvalitu plastových výrobků. Tato společnost pracovala na vývoji kritérií pro

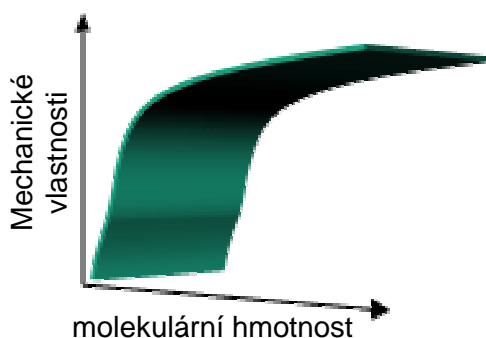
zaručenou bezpečnost výrobku při použití recyklátu, jenž ale nesmí být předem nijak chemicky upravován.

V roce 1980 stanovila hranici pro opětovné používání recyklátu [18] v normě pro bezpečnost konstrukčních částí z polymerních materiálů – UL746D. Podle této normy je za bezpečnou hodnotu, bez nutného provádění zkoušek, považováno



Obr. 2.12 Závislost mechanických vlastností na procentuelním obsahu recyklátu v panenském materiálu [19]

množství 25 hmot. % recyklátu přidaného k panenskému materiálu, aniž by došlo k výraznému ovlivnění kvality. Při použití recyklátu převyšující toto množství v panenském materiálu jsou vyžadovány zkoušky pro ověření bezpečnosti výrobku. Při zvyšování procentuelního podílu recyklátu jsou teoreticky očekávány zhoršené vlastnosti zkoušeného vzorku. Po překročení hranice 25% byl zpozorován počátek poklesu mechanických



Obr. 2.13 Závislost mechanických vlastností na molekulární hmotnosti zpracovávané směsi panenského materiálu a drtě [19]

vlastností (viz obr. 2.12). Součinitel bezpečnosti klesá v závislosti se zvyšujícím se podílem recyklátu. Z obr. 2.13 je patrné, jaký vliv má na mechanické vlastnosti molekulová hmotnost, jenž závisí na množství přidaného recyklátu. Se zvyšujícím se množstvím recyklátu molekulová hmotnost klesá, což má za následek zhoršení kvality výrobků včetně jejich vlastností.

Celá tato studie se nevztahuje pouze k jednomu typu materiálu, ale vychází z hodnocení velké řady materiálů.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část bakalářské práce řeší studii zhodnocení vratného polymerního odpadu, která je vypracována pod záštitou firmy Valeo Autoklimatizace s.r.o., Rakovník, a jenž vznikla na základě dvou hlavních požadavků.

Prvním z nich byla snaha firmy Valeo Autoklimatizace snížit výdaje za nákup komponentů (vstřikovaných dílů) klimatizačních jednotek automobilů od svých stávajících dodavatelů využitím vratného odpadu.

Druhým požadavkem bylo vyhodnotit závislost mechanických vlastností vstřikovaných dílů na množství recyklátu přidávaného k panenskému materiálu. V této části studie jsou mimo ekonomické analýzy stanoveny a hodnoceny tahové vlastnosti výstřiků dle ČSN EN ISO 527-1,2, ohybové vlastnosti dle ČSN EN ISO 178, rázové vlastnosti metodou Charpy dle ČSN EN ISO 179 a také tokové chování polymeru spirálovou zkouškou zabíhavosti v závislosti na procentuelním zastoupení vratného odpadu.

3.1 Ekonomická analýza

Prvním z úkolů experimentální části je ekonomický rozbor, jenž řeší využití množství vratného polymerního odpadu a z něho plynoucí možné úspory včetně ekonomické návratnosti projektu. Firma Valeo Autoklimatizace doporučila dva své dodavatele, k nimž se tato práce vztahuje (dále označovány jako dodavatel A, dodavatel B). V bakalářské práci je věnována pozornost každému dodavateli zvlášť a ke každému z nich je vypracováno shrnutí dle sestavených tabulek zaznamenávajících pro každý výrobek množství vzniklého vratného odpadu a příslušné úspory.

K dosažení samotné podstaty analýzy bylo nutné získat potřebné údaje (viz příloha 1). Začátek těchto rozborů tedy spočíval především v získávání a roztřídění dostupných informací přímo od dodavatelů a jejich využití k vypracování ekonomické analýzy, jejíž postup byl konzultován se zástupci firmy Valeo i jejich dodavateli.

3.1.1 Rozbor dodavatele A

Veškeré počáteční materiálové informace získané od dodavatele: hrubá hmotnost (brutto), čistá hmotnost (netto), násobnost formy, doba cyklu, počet kusů za rok, průměrná denní vytíženost lisu, uzavírací síla, případně počet kusů za hodinu, byly potřebné k samotné výpočetní části rozboru. Prvním krokem bylo zjištění odpadovosti u všech daných výrobků. Ze znalosti hrubé a čisté hmotnosti každého výrobku byl jejich rozdílem vypočítán odpad při výrobě během jednoho cyklu. Hodnota odpadu za rok pak vychází z celkového počtu vyráběných kusů a násobnosti formy. Pro prvotní ekonomické zhodnocení odpadovosti se vypočítané množství odpadu vynásobilo kupní cenou podle typu materiálu a odečetlo se 20% z této hodnoty. Do zmiňovaných 20% jsou započítány nepřímé náklady na zavedení recyklace do provozu (elektřina, opravy, plat obsluhy drtiče, apod.). Procentuelní hodnotu (20%) zastupující tyto náklady doporučil při konzultaci zástupce dodavatele. Výsledná hodnota se rovná úsporám, jenž by vznikly při využití recyklátu zpětně do výroby po dobu jednoho roku. Než mohlo dojít ke konečnému výběru vhodného materiálu, musely být zváženy veškeré možnosti zpětného zpracování odpadu při výrobě. U dodavatele A, jenž požaduje řešení pouze pro případ otevřené smyčky (viz kap. 2.3.1), se nabízejí tři varianty:

- **Varianta č. 1:** Z výše uvedených hodnot byla sestavena tab. 3.1 dle jednotlivých komponentů a výše popsaným způsobem vypočítány možné úspory získané po roční výrobě. Následně lze z ekonomického hlediska vybrat nejvýhodnější materiál, v našem případě **Delrin 511 P NC 010** natur s přidávaným černým barvivem, kde by ušetřené roční náklady činily **12 180,40 €**. Vzniklý recyklát by se použil zpět na stejný stroj a na výrobu stejných výrobků, z kterých pochází. Dobu, po níž bude recyklát skladován před zpětným použitím ve výrobě, si určí dodavatel sám, avšak při určení jednoho dne by byl výrobek střídavě vyráběn z panenského materiálu a střídavě ze směsi panenského materiálu s přidavkem recyklátu. Proto se jeví jako nejvýhodnější doba jednoho roku, kdy by byl materiál skladován, a následující rok by se vyráběly

číslo řádku	název výrobku	třída materiálu	typ materiálu	barva	hmotnost brutto/cyklus [g]	hmotnost netto/cyklus [g]	násobnost	číslo stroje	počet kusů za rok	odpad/rok [kg]	ideální hodnota recyklátu z ročního odpadu [%]	cena materiálu €/kg	úspora čistého materiálu €/rok	
1	Came distribution v/f ins right LHD	POM	Delrin 511P NC 010 natur	černý	69,4	63,6	4	29	1280796	1831,5	8,2	3,0	5494,6	4395,7
2	Came distribution v/f out right LHD		Delrin 511P NC 010 natur	černý	105,2	89,3	4	23	1280796	5075,2	15,1	3,0	15225,5	12180,4
3	Gear LHD		Delrin 511P NC 010 natur	černý	20,1	15,1	4	3	346429	436,5	25,0	3,0	1309,5	1047,6
4	Came distribution v/f ins left LHD		Delrin 511P NC 010 natur		91,1	76,8	4	25	1280796	4582,0	15,7	3,0	13746,1	10996,9
5	Gear-vratné balení		Delrin 511P NC 010 natur		23,9	16,4	4	5	213667	400,2	31,4	3,0	1200,6	960,5
6	Adapter blower motor RHD	PP	Hostacom XM2U34		37,4	32,6	1	12	42565	204,3	12,8	1,2	245,2	196,1
7	Swing lever, temp flap LH LHD	PA66	Zytel 101L NC 010 natur		65,4	54,5	4	26	52159	141,9	16,6	2,8	397,2	317,8
8	Lever temp. flap LH RHD		Zytel 101L NC 010 natur	žlutý	34,5	26,5	4	1	327409	655,6	23,2	2,8	1835,8	1468,6
9	Swing lever temp. flap LH RHD		Zytel 101L NC 010 natur	zelený	22,5	17,3	2	4	30402	78,1	22,9	2,8	218,8	175,0
10	Lever defrost flap 2-zone LHD		Zytel 101L NC 010 natur	modrý	30,4	23,6	4	4	586110	999,3	22,4	2,8	2798,1	2238,5
11	Lever defrost flap RHD		Zytel 101L NC 010 natur	fialový	23,7	16,1	4	12	134590	253,4	31,8	2,8	709,4	567,5
12	Lever defrost flap 1-zone LHD		Zytel 101L NC 010 natur	červený	34,9	22,5	4	3	560096	1736,3	35,5	2,8	4861,6	3889,3
13	Lever temp. flap right		Zytel 101L NC 010 natur	černý	8,5	6,4	2	4	720700	756,7	24,7	2,8	2118,9	1695,1
14	Lever recirc. flap RHD		Zytel 101L NC 010 natur	černý	19,7	16,1	4	4	134590	119,8	18,1	2,8	335,4	268,3
15	Couple lever temp. flap, right	PA66-G30	Zytel 70G30HSL BK 039 B černý		19,9	17,3	4	28	720700	461,2	12,9	2,6	1199,2	959,4
16	Couple lever vent. rear RHD		Zytel 70G30HSL BK 039 B černý		21,6	15,4	4	5	357811	555,5	28,7	2,6	1444,3	1155,4
17	Couple lever temp. flap, LH RHD		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	žlutý	13,7	12,3	4	29	327409	113,0	10,1	2,6	293,7	234,9
18	Couple lever temp. flap left RHD		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	zelený	31,3	27,1	4	29	30402	32,0	13,5	2,6	83,2	66,6
19	Couple lever defrost flap LHD		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	modrý	37,2	33,3	4	29	586110	568,5	10,4	2,6	1478,2	1182,5
20	Couple lever defrost RHD clim.		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	fialový	16,2	14,8	2	29	134590	93,5	8,6	2,6	243,2	194,6

I Návrh řešení úspory materiálu pro dodavatele A

výrobky pouze z recyklovaného materiálu. V takovém to případě, avšak i při době jednoho dne (viz příloha 1), by procentuelní zastoupení recyklátu v panenském materiálu mohlo činit až **15,1%**.

- **Varianta č. 2:** Aby se dosáhlo co největších možných úspor i jiným způsobem, lze seřadit materiály podle typu a barviva (viz tab. 3.2). Roční úspory byly vypočítány stejným postupem jako ve variantě č. 1. Po rozčlenění bylo zjištěno, že se lze zabývat pouze Delrinem 511P černým i bezbarvým, Zytelem 101L s černým barvivem a Zytelem 70G30HSL černým, jelikož ostatní materiály jsou různých barev. Odpad z materiálu stejného typu je zpracováván na drť, skladován a po době stanovené výrobcem použit do výroby v podobě recyklátu. Tato metoda spočívá ve výběru jednoho stroje, na který se následně bude dopravovat zbylý odpad z ostatních strojů zpracovávající tentýž typ materiálu v podobě drti. Pro volbu stroje je rozhodující ideální množství přidávaného recyklátu, které např. pro Delrin 511P s černým barvivem se zjistilo takto: v případě stroje č. 29 (řádek č. 1 viz tab. 3.2) bylo spočítáno, kolik procent recyklátu z odpadu ze strojů č. 23 a č. 3 bychom musely přidávat, aby se zpracovalo veškeré množství recyklátu z obou strojů za rok. Stejným způsobem byly vypočítány i procentuelní hodnoty na zbylé stroje (č. 23 a č. 3). Poté lze vybrat stroj, na kterém je dosažena nejvyšší úspora současně s přijatelnou hodnotou množství recyklátu, která je udávána v rozmezí 5%-15% (viz kap. 2.1). Nejlepší procentuelní hodnota je u stroje č. 23 a to znamená, že se odpad ze zbylých dvou strojů bude drtit na recyklát a poté přidávat v množství 6,7% k panenskému materiálu na stroj č. 23. Totožným postupem se došlo i k výsledkům u ostatních materiálových skupin.

Ekonomicky nejvýhodnější je opět Delrin 511P s černým barvivem **s roční úsporou materiálu 2268 kg, resp. 5443,30 €**. Jelikož je každý stroj jinak časově vytížený, bylo by nejvýhodnější materiál skladovat po celý rok a následně by se vyráběl vybraný výrobek celoročně z recyklátu. Nevýhodou této varianty je potřeba skladovat odpad z více strojů, aniž by došlo ke kontaminaci jiným materiálem či nečistotami a zůstal by nevyužitý odpad vždy z jednoho stroje, který by bylo možno prodat,

číslo řádku	název výrobku	typ materiálu včetně přidávaného barviva	stroj	odpad/rok [kg]	20%/rok	ideální hodnota recyklátu ze všech strojů zpracovávající shodný mat. [%]	hodnota uspořené vratného odpadu ze všech strojů € /rok	ideální hodnota recyklátu/cyklus [%]	uspořené materiálu/rok [kg]	úspora panenského materiálu € /rok	
1	Came distribution v/f ins right LHD	Delrin 511P NC 010 černý	29	1831,5	4441,8	33,1	27661,3	24,8	5511,7	16535,0	13228,0
2	Came distribution v/f out right LHD	Delrin 511P NC 010 černý	23	5075,2	6735,1	21,8		6,7	2268,0	6804,1	5443,3
3	Gear LHD	Delrin 511P NC 010 černý	3	436,5	348,7	421,2		396,2			
4	Came distribution v/f ins left LHD	Delrin 511P NC 010 natur	25	4582,0	5831,5	17,1	11957,4	1,4	400,2	1200,6	960,5
5	Gear-vratné balení	Delrin 511P NC 010 natur	5	400,2	255,2	390,4		359,0			
6	Adapter blower motor RHD	Hostacom XM2U34	12	204,3	318,4						
7	Swing lever, temp flap LH LHD	Zytel 101L NC 010 natur	26	141,9	170,6						
8	Lever temp. flap LH RHD	Zytel 101L NC 010 žlutý	1	655,6	564,6						
9	Swing lever temp. flap LH RHD	Zytel 101L NC 010 zelený	4	78,1	68,3						
10	Lever defrost flap 2-zone LHD	Zytel 101L NC 010 modrý	4	999,3	890,3						
11	Lever defrost flap RHD	Zytel 101L NC 010 fialový	12	253,4	159,2						
12	Lever defrost flap 1-zone LHD	Zytel 101L NC 010 červený	3	1736,3	977,9						
13	Lever temp. flap right	Zytel 101L NC 010 černý	4	756,7	613,3	28,6	2454,3	3,9	119,8	335,4	268,3
14	Lever recirc. flap RHD	Zytel 101L NC 010 černý	4	119,8	132,2	132,6		114,5			
15	Couple lever temp. flap, right	Zytel 70G30HSL BK 039 B černý	28	461,2	716,7	28,4	2643,5	15,5	555,5	1444,3	1155,4
16	Couple lever vent. rear RHD	Zytel 70G30HSL BK 039 B černý	5	555,5	386,6	52,6		23,9	461,2	1199,2	959,4
17	Couple lever temp. flap, LH RHD	Zytel 70G30HSL NC 010 žlutý	29	113,0	224,6						
18	Couple lever temp. flap left RHD	Zytel 70G30HSL NC 010 zelený	29	32,0	47,6						
19	Couple lever defrost flap LHD	Zytel 70G30HSL NC 010 modrý	29	568,5	1090,2						
20	Couple lever defrost RHD clim.	Zytel 70G30HSL NC 010 fialový	29	93,5	218,2						

Pozn.: výrobky 7–12 a 17–20 jsou všechny odlišně barveny

avšak za velice nízkou cenu. V této variantě se nabízí i možnost využít odpad z naprosto všech strojů zpracovávající tentýž typ materiálu. Tedy u Delrinu s černým barvivem by se skladoval odpad ze všech tří strojů a po stanovené době použil jako recyklát. Ovšem procentuelní zastoupení by tak vzrostlo např. na stroji č. 23 na **21,8%**, ale dosáhlo by se úspor až **27 661,30 €** za rok a zpracoval by se veškerý předchozí odpad.

- **Varianta č. 3:** je poslední možností způsobu využití odpadu u dodavatele A. Tento způsob se nabízí tehdy, pokud by výrobce souhlasil s obarvením shodného typu materiálu stejnou barvou či pokud by zůstal neobarven. Z tab. 3.3 je patrné, že lze uvažovat o dvou skupinách materiálů. Nejprve se spočítají úspory podle varianty č. 1 a následně se zjistí ideální množství recyklátu způsobem dle varianty č. 2 z veškerého vzniklého odpadu. Tento způsob využití recyklátu je ze všech tří variant nejméně vhodný, jelikož je odpad skladován z mnoha strojů a ideální hodnota recyklátu přesahuje 15% (viz kap. 2.1). Přijatelná procentuelní hodnota se vyskytuje pouze u materiálu Zytel 101L, avšak po ekonomické stránce přinese tento materiál nejmenší úspory.

Tab. 3.3 Návrh řešení úspory dle stejné barevnosti materiálu pro dodavatele A

číslo řádku	typ materiálu	odpad/den [g]	20%/den	ideální hodnota recyklátu/den [%]	odpad/rok [kg]	20%/rok	Ideální hodnota recyklátu/cyklus [%]	uspořený materiál/rok [kg]	úspora panenského materiálu €/rok	hodnota uspořené vratného odpadu €/rok
1	Delrin 511P NC	2030	4922,6		1831,5	4441,8	47,3	10493,9	31482	25185
2	Delrin 511P NC	5649	7496,5	21,5	5075,2	6735,1	21,5	7250,3	21751	17401
3	Delrin 511P NC	480,3	383,7		436,5	348,7	681,9	11888,9	35667	28534
4	Delrin 511P NC	5078	6462,7	26,6	4582	5831,5	26,6	7743,4	23230	18584
5	Delrin 511P NC	442,5	282,2		400,2	255,2	934,4	11925,2	35776	28621
7	Zytel 101L NC	157,9	189,9		141,9	170,6	102,8	876,5	2454,3	1963,4
13	Zytel 101L NC	1679	1360,6	4,2	756,7	613,3	8,5	261,7	732,6	586,1
14	Zytel 101L NC	128,2	141,5		119,8	132,2	135,9	898,6	2516,1	2012,9

3.1.2 Rozbor dodavatele B

Při zjišťování odpadovosti a úspor u dodavatele B, byly hodnoty vypočítány stejným způsobem, jako u dodavatele A v předchozí kapitole. Způsoby získávání a následného využití vzniklého odpadu lze rozdělit na dvě varianty.

- **Varianta č. 1:** Princip i postup je shodný s variantou č. 1 dodavatele A. Dle používaných materiálů byla sestavena tab. 3.4. Dodavatel B zpracovává tři různé typy materiálů na třech strojích. Z toho vzduchová klapka levá i pravá jsou vyráběny ve společné formě. Cílem tohoto postupu je vybrat ekonomicky nejvýhodnější materiál a při využívání recyklace se zaměřit přímo na něj. Z ekonomického hlediska jsou nejvyšší úspory u Altechu PA 6A černém a Exxtralu HMU 404 černém. V tabulce 3.4 jsou úspory Altechu zaznamenány červeně a úspory plynoucí z Exxtralu zaznamenány modře. Vzhledem k tomu, že je polyamid sině navlhavý polymerní materiál a rozdíl mezi hodnotami obou možných úspor je téměř zanedbatelný, byl by doporučen dodavateli B k recyklaci právě **Exxtral HMU 404** pro výrobek vzduchové klapky levé i pravé, kde roční úspory činí **6 049,50 €**
- **Varianta č. 2:** Postup dalšího způsobu využití odpadu je ve své podstatě založen na využívání odpadu ze stejného typu materiálu. Typ materiálu je seřazen podle stroje (viz tab. 3.5), na kterém dochází k jeho samotnému zpracování. V první skupině je stroj č. 25 a na něm zpracováván Exxtral HMU 404 černý a Altech PA 6A. Veškerý odpad vznikající pouze z Exxtralu na tomto stroji by se skladoval v kontejnerech a po dané době by byl přidáván v podobě recyklátu k panenskému materiálu a následně použit na výrobek ze stejného stroje a typu materiálu, u něhož je nejnižší ideální hodnota recyklátu. Ideální hodnota recyklátu se vypočítá stejným postupem, jako ve variantě č. 2 u dodavatele A. V případě stroje č. 16 není tato varianta možná z důvodu různého typu materiálu. Na posledním stroji dochází k zpracovávání stejného typu materiálu Exxtralu černého. Postup získání odpadu včetně výpočtu ideální hodnoty recyklátu se shoduje s výše uvedeným postupem u stroje č. 25.

skupina č.		číslo řádku	název výrobku	typ materiálu	stroj č.	násobnost	brutto/cyklus [g]	netto/cyklus [g]	počet dní produkce/rok	odpad/ks [g]	počet kusů/rok	odpad/rok [kg]	cena materiálu [€/rok]	úspora panenského materiálu/rok [€]	
1	2														
1	1	Klapka vstupu vzduchu L	Exxtral HMU 404 černý	25	4	93,2	66,0	59	6,8	583162	3965,5	1,2	4758,6	3806,9	
	2	Klapka vstupu vzduchu P	Exxtral HMU 404 černý	25	4	94,4	67,2	10	6,8	98092	667,1	1,2	800,5	640,4	
	3	Klapka recirkulace	Exxtral HMU 404 černý	25	4	173,0	130,0	34	11	340627	3661,7	1,2	4394,0	3515,2	
	4	klapka centrální	Altech PA 6 A černý	25	4	76,9	42,4	34	8,6	340627	2937,9	2,6	7638,5	6110,8	
2	5	Vzduchová klapka P	Exxtral HMU 404 černý	14	2	70,5	52,0	63	9,3	340627	6301,6	1,2	7561,9	6049,5	
	6	Vzduchová klapka L	Exxtral HMU 404 černý	14	2	68,5	50,0		9,3	340627					
3	7	Klapka boční P	Exxtral HMU 404 černý	16	2	31,3	21,0	18	5,2	98092	505,2	1,2	606,2	485,0	
	8	Klapka boční L	Exxtral CMW 402 šedý	16	4	77,7	43,2	51	8,6	583162	5029,8	1,2	6035,8	4828,6	

ab. 3.4 Návrh řešení úspory materiálu pro dodavatele B

Tab. 3.5 Návrh řešení úspor materiálu pro dodavatele B dle stroje

skupina č.	řádek č.	typ materiálu	stroj č.	počet kusů/rok	odpad/rok [kg]	20%/rok	ideální hodnota recyklátu/cyklus [%]	úspora panenského materiálu/rok [€]	hodnota vratného odpadu [€/rok]
1	1	Exxtral HMU 404 černý	25	583162	3965,5	2717,5	31,9	4328,8	3463,0
	2	Exxtral HMU 404 černý	25	98092	667,1	463,0	329,5		
	3	Exxtral HMU 404 černý	25	340627	3661,7	2946,4	31,4	4632,6	3706,1
	4	Altech PA 6 A černý	25	340627	2937,9	1309,7			
2	5	Exxtral HMU 404 černý	14	681254	6301,6	9469,4	13,3	6301,6	5041,3
	6	Exxtral HMU 404 černý	14						
3	7	Exxtral CMW 402 šedý	16	583162	5029,8	2265,6			
	8	Exxtral HMU 404 černý	16	98092	505,2	307,0			

Z řešení varianty č. 2 je patrné, že nejvýhodnější materiál je **Exxtral HMU 404** zpracovávaný na stroji č. 14. Úspory dosahují **6301,60 €** za rok při dávkování **13,3%** recyklátu do panenského materiálu. Na jiných strojích dochází k zisku znatelně nižších úspor nebo jsou zde zpracovávány materiály různého typu.

Obě varianty jsou stejně jako u dodavatele A vypracovány na dobu jednoho roku.

3.2 Validační plán z hodnocení vratného odpadu

Vzhledem k plánovanému ukončení výrobního programu dodavatele B by nebylo možné dosáhnout návratnosti nákladů při zavádění opětovného zpracovávání odpadu především z důvodu nízkých vypočítaných úspor. Přineslo by to dodavateli B pouze ekonomickou ztrátu. Proto se bude v experimentální části práce věnovat pouze zhodnocení ekonomické a technologické analýzy materiálu od dodavatele A.

Prozkoumáním nabídky materiálů dodavatele A i variant zpracování odpadu dosahujících úspor materiálu, je patrné, že ze všech tří variant je ekonomicky nejvýhodnější právě Delrin 511P NC 010 s přídavkem černého barviva. Při konzultaci výsledků analýzy s dodavatelem A byla tato volba materiálu schválena také jeho zástupci.

Pro samotné mechanické zkoušky bude Delrin 511P NC 010 výchozím materiálem, u něhož budou zjišťovány vlastnosti v závislosti na množství přidávaného recyklátu.

Důležitým krokem ekonomické analýzy v experimentální části bakalářské práce je vypočítání návratnosti veškerých výdajů spojených se zavedením recyklace do výroby, které spočívají v nákladech spojených s testováním vzorků prováděných mimo rámec bakalářské práce, a v investicích na zařízení potřebná k zhodnocení vratného polymerního odpadu.

➤ Úspory získané za rok:

Ze všech tří variant se nabízejí nejvyšší možné úspory za panenský materiál u varianty č. 1, která je nejvýhodnější i z technologického a kvalitativního hlediska. Celkové úspory činí **12 180,4€** V přepočtu na českou korunu jsou úspory **344 583,50 Kč** (při kursu 1€ = 28,29 Kč).

➤ Náklady na testování za jeden vzorek:

Hořlavost podle TL 1010 bez stárnutí	4 000 Kč
Emise podle VW 501 80:	
emise organického uhlíku podle PV 3341	3 200 Kč
emise formaldehydu podle PV 3925	1 900 Kč
gravimetrický fogging podle PV 3015	2 100 Kč
pachová zkouška podle PV 3900	3 900 Kč

Reflektometrický fogging podle PV 3920 4 000 Kč

Náklady na testování jednoho vzorku se rovnají **19 100 Kč**.

➤ **Investice na zařízení potřebné k zpracování odpadu a k jeho opětovnému využití:**

Drtič	150 000 Kč
Mísič drtě před násypkou	180 000 Kč
Manipulátor	100 000 Kč

Uvedené ceny na zařízení k recyklaci jsou pouze přibližné, jelikož nebyly stanoveny k přesnému typu a značce zařízení. Nepřímé výdaje (plocha kolem lisu, spotřeba elektrické energie drtiče, plat pracovníka, apod.) jsou již započítané v hodnotě úspory. Ve všech výše uvedených tabulkách se nacházejí dvě různé hodnoty úspor. Úspora panenského materiálu je hodnota odpadu vynásobená kupní cenou panenského materiálu, ovšem hodnota uspořené vratného odpadu je údaj, který v sobě zahrnuje právě nepřímé výdaje. Dvacet procent hodnoty úspor panenského materiálu je odečtena od celé úspory panenského materiálu, z čehož vyplývá hodnota uspořené vratného odpadu. Hodnota za nepřímé náklady je doporučena dodavatelem (viz kapitola 3.1.1).

Celkové úspory: **344 583,50 Kč /rok**

Celkové výdaje: **449 100 Kč**

V prvním roce zavedené recyklace by se podnik dostal do ztráty **104 516,50 Kč**. Návratnost je vypočítána na necelých **16 měsících** od začátku zavedení samotné recyklace.

3.3 Charakteristika měřeného materiálu [20]

Polyoxymetylén Delrin 511P NC010 je termoplastický, středně viskózní homopolymer, vhodný pro technologii vstřikování a vytlačování. Materiál se vyznačuje dobrými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi, jako je pevnost, rázová houževnatost, chemická odolnost, rozměrová a teplotní stabilita, výborné chování při dynamickém namáhání a nízká navlhavost, i přesto, že

se řadí mezi středně navlhavé materiály. Používá se především ve strojírenství, elektrotechnice, automobilovém a spotřebním průmyslu. Užité vlastnosti jsou uvedeny v tab. 3.6.

Obr. 3.6 Vybrané vlastnosti Delrinu 511P NC 010

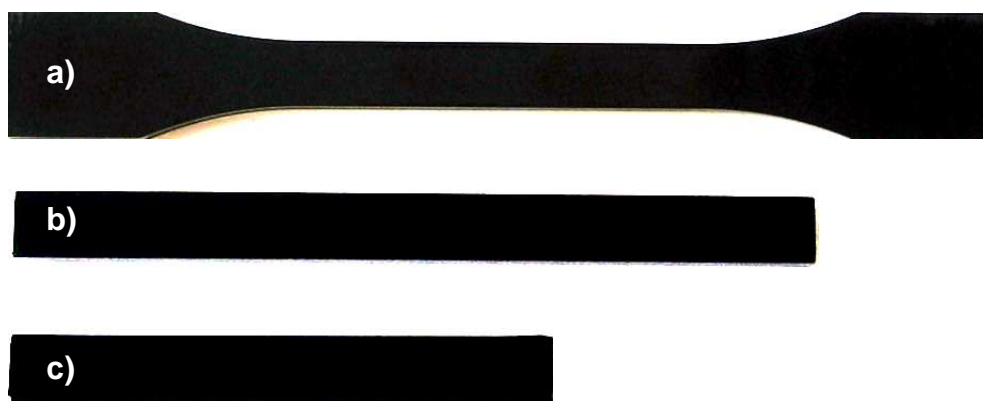
DELIN 511P NC 010				
Fyzikální vlastnosti	Podmínky měření	Hodnota	Jednotka	Norma
Hustota	23/50	1420	kg/m ³	ISO 1183
Navlhavost	23/50	0,2	%	ISO 62
Nasákavost	-	0,9	%	ISO 62
Objemový index toku taveniny	190°C/2.16 kg	13	cm ³ /10 min	ISO 1133
Modul pružnosti v tahu	23/50	3400	MPa	ISO 527-1/-2
Napětí na mezi kluzu v tahu	23/50	73	MPa	ISO 527-1/-2
Poměrné prodloužení při porušení	23/50	25	%	ISO 527-1/-2
Vrubová houževnatost dle Charpy	+23°C	8	kJ/m ²	ISO 179/1 eA
Vrubová houževnatost dle Charpy	-30°C	7	kJ/m ²	ISO 179/1 eA
Rázová houževnatost dle Charpy	+23°C	260	kJ/m ²	ISO 179/1 eU
Rázová houževnatost dle Charpy	-30°C	260	kJ/m ²	ISO 179/1 eU
Tvarová stálost za tepla Vicat	50°C/h 50N	160	°C	ISO 306
Relativní permitivita	100Hz	3,5	-	IEC 60250
Relativní permitivita	1MHz	3,8	-	IEC 60250
Objemový odpor	-	10 ¹²	Ohm*m	IEC 60093
Povrchový odpor	-	10 ¹⁵	Ohm	IEC 60093
Průrazová pevnost	1mm	27	kV/mm	IEC 60243-1
Teplota sušení	-	80	°C	-
Doba sušení	-	2-4	h	-
Doporučená teplota taveniny pro zpracování	-	210-220	°C	-
Rozmezí teplot formy	-	80-100	°C	-

3.4 Výroba zkušebních vzorků

Ekonomickou analýzou jsme dospěli k nejvýhodnějšímu materiálu z hlediska úspor nákladů. Je proto třeba dokázat, zda i po technologické stránce bude materiál vyhovovat, a proto se následující kapitoly experimentální části zaměřují na hodnocení tahových, ohybových a rázových vlastností materiálu. Avšak před vlastním započítáním mechanických zkoušek je třeba vyrobit zkušební tělesa vhodného tvaru. Pro hodnocení následujících

tahových, ohybových i rázových vlastností byla zkušební tělesa vyrobena na šnekovém vstřikovacím stroji ENGEL ES 25/50 z výše vybraného materiálu (viz kapitola 3.3), jenž byl před výrobou zkušebních vzorků sušen v horkovzdušné sušárně s nuceným oběhem vzduchu při teplotě 90°C po dobu 6 hodin.

Při výrobě zkušebních vzorků pro zkoušku tahem (viz obr. 3.1a) byla použita dvojnásobná vstřikovací forma s jednou dělicí rovinou, dvoudesková, s kuželovým vtokem a štěrbinovým ústím vtoku. Při výrobě těles na ohybovou a rázovou zkoušku byla podobně jako u tahových těles využita dvojnásobná forma, s kuželovým vtokem, štěrbinovým ústím vtoku, ovšem s jednou tvarovou dutinou pro zkušební těleso na rázovou zkoušku (viz obr. 3.1c) a druhou odpovídající zkušebnímu tělesu ohybové zkoušky (viz obr. 3.1b). Na tělese zkušebního vzorku pro rázovou zkoušku, byl vzhledem k povaze materiálu, po jeho kondicionaci, vyroben normalizovaný tvar vrubu typu A dle ČSN EN ISO 179 pomocí vrubovačky CEAST s digitálním mikrometrem. Formy pro výrobu zkušebních těles na tahovou, ohybovou i rázovou zkoušku byly temperovány pomocí teplotnosného cirkulujícího média v temperačních kanálech formy.



Obr. 3.1 Zkušební tělesa pro: a) tah, b) ohyb, c) ráz

Samotné vstřikování podléhalo technologickým podmínkám uvedeným v tab. 3.7 a tab. 3.8. Zkušební tělesa byla vstřikována v řadě šesti různých šaržích (tedy v šesti různých procentuelních zastoupeních recyklátu v panenském materiálu): 0%, 10%, 20%, 30%, 50% a 70% při konstantních technologických parametrech (době chlazení i vstřikovacího cyklu, vstřikovacího tlaku, apod.).

Abychom zajistili konstantní dobu cyklu, bylo nutné upravovat dobu manipulace, jelikož skupina materiálů se zvyšujícím se množstvím recyklátu měla za následek měnící se dobu plastikace.

Tab. 3.7 Technologické podmínky pro vstřikování zkušebních vzorků

DELFIN 511P NC 010						
množství recyklátu [%]	0		10		20	
T _{I,II,III} [°C]	170/170/160					
T _{tryska} [A]	6					
t _{s1} + t _{s2} [s]	2		2		2	
t _v +t _d [s]	15		15		15	
t _{ch} [s]	25		25		25	
typ zkoušeného tělesa	tah	ohyb/ráz	tah	ohyb/ráz	tah	ohyb/ráz
t _{pl} [s]	13	9	13	8	12	8
t _m [s]	14	11	14	12	15	12
t _{celkové} [s]	69	62	69	62	69	62
p _{vstř} [MPa]	2	2	2	2	2	2

Tab. 3.8 Technologické podmínky pro vstřikování zkušebních vzorků

DELFIN 511P NC 010						
množství recyklátu [%]	30		50		70	
T _{I,II,III} [°C]	170/170/160					
T _{tryska} [A]	6					
t _{s1} + t _{s2} [s]	2		2		2	
t _v +t _d [s]	15		15		15	
t _{ch} [s]	25		25		25	
typ zkoušeného tělesa	tah	ohyb/ráz	tah	ohyb/ráz	tah	ohyb/ráz
t _{pl} [s]	11	8	12	8	12	8
t _m [s]	16	12	15	12	15	12
t _{celkové} [s]	69	62	69	62	69	62
p _{vstř} [MPa]	2	2	2	2	2	2

K hodnocení vlastností zkoušeného materiálu mechanickými zkouškami bylo vyrobeno pro tahovou zkoušku 20 kusů a pro ohybovou i rázovou zkoušku 10 kusů zkušebních těles po šesti šaržích, což v konečném výsledku znamenalo celkem 240 zkušebních vzorků pro experimentální měření v oblasti mechanických vlastností.

3.5 Metody hodnocení mechanických vlastností

Aby se výrobce rozhodl pro použití technologie recyklace, je nutné po stránce bezpečnosti a stálé kvality výrobku prokázat, že se procentuelní množství recyklátu obsažené v panenském materiálu výrazně nepodílí či naopak podílí na změně mechanických vlastností a tím i na změně již jmenované bezpečnosti a kvality budoucího výrobku. Z tohoto důvodu je jistě nezbytné zhodnotit vliv recyklátu nejen z hlediska ekonomického, ale současně i z hlediska výsledných mechanických vlastností.

Před hodnocením mechanických vlastností byla zkušební tělesa po vyrobení (viz kap. 3.4) kondicionována ve standardním prostředí 23/50 dle normy ČSN EN ISO 291.

3.5.1 Hodnocení tahových vlastností [21]

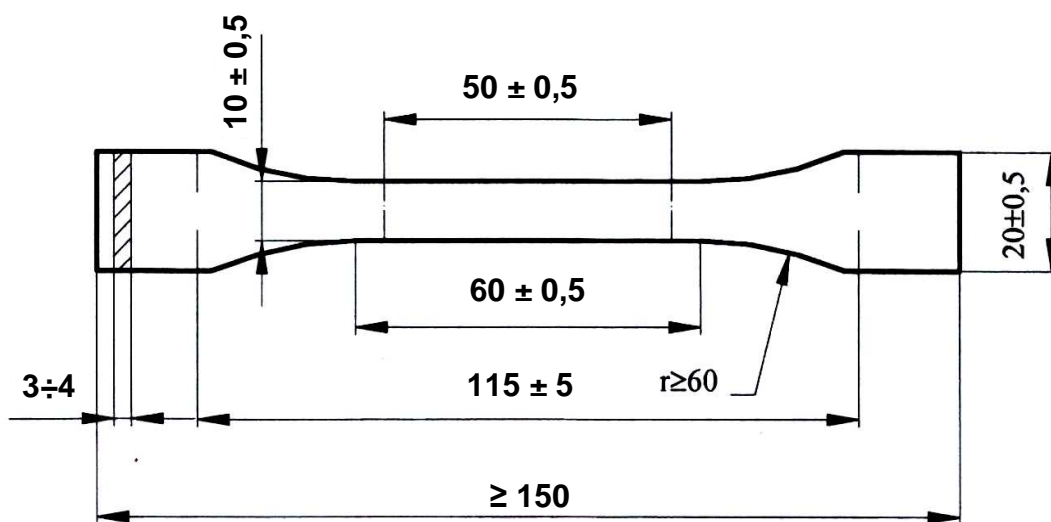
Nejdůležitější mechanické vlastnosti plastů se zjišťují tahovou zkouškou, jenž slouží k hodnocení chování plastů při jednoosém tahovém zatížení. Zkouška probíhá při stanovených podmínkách předběžné úpravy, klimatu a rychlosti na zkušebních tělesech definovaných normou a ve stejném prostředí, v němž proběhlo kondicionování vzorků. Výsledky zkoušky jsou nepřenositelné a závislé na podmínkách výroby zkušebních těles i na podmínkách průběhu samotné zkoušky. Během zkoušky dochází k záznamu síly na mezi kluzu, maximální síly, síly při přetržení a změny počáteční měřené délky L_0 . Dále je zaznamenávána závislost napětí (σ) na deformaci (ϵ) (poměrném prodloužení), jenž slouží k odečítání potřebných hodnot napětí a deformace. Prodloužení při maximální síle i mez pevnosti lze vyhodnotit, pokud praskne zkušební těleso v oblasti měřené délky stanovené v ČSN EN ISO 527-1.



Obr. 3. 2 Zkušební zařízení Hounsfield H10KT

Zkušební těleso s danými rozměry (viz obr. 3.3) bylo protahováno ve směru podélné osy až do jeho porušení za konstantní rychlosti zkoušení 50mm/min dle podmínek ČSN EN ISO 527. Na trhacím stroji Hounsfield H 10 KT (viz obr. 3.2) s průtahoměrem 100 RC a softwarem QMAT bylo pro každou šarži zkoušeného materiálu použito 20 zkušebních těles, z nichž byly použity pouze ty hodnoty (viz příloha 2), kde došlo k lomu zkušebního tělesa

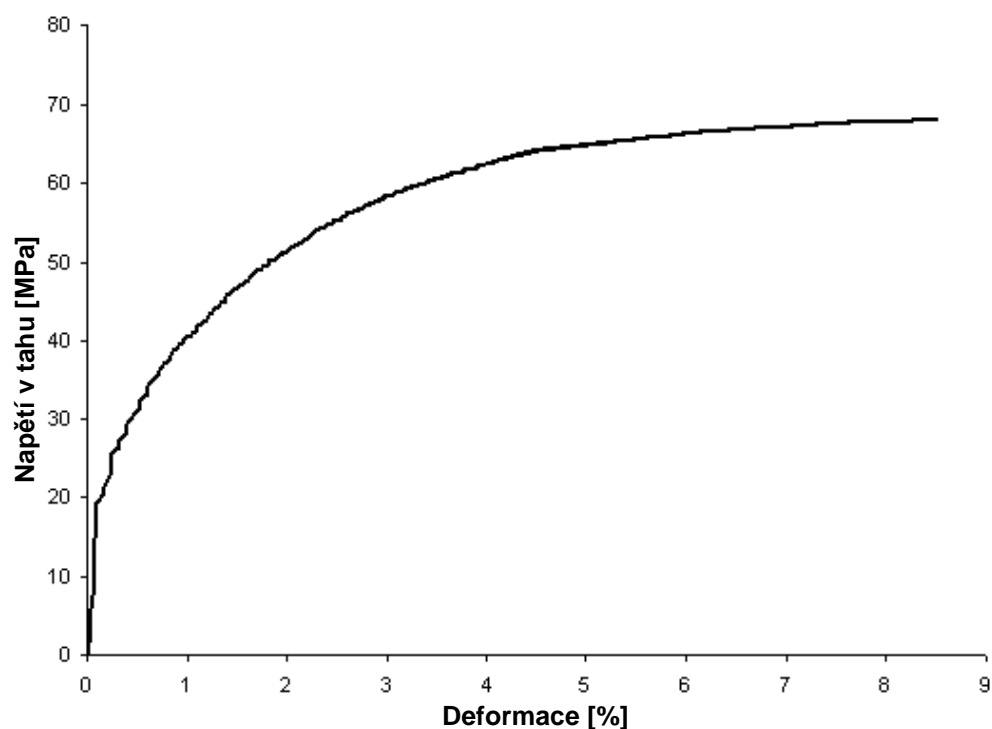
v měřené části. Průměrné naměřené hodnoty jsou zaznamenány v tab. 3.9. Grafická závislost napětí na prodloužení pro daný materiál je uvedena na obr. 3.4, jelikož jsou křivky všech šarží téměř totožné a dochází k jejich překrývání, je pro názornost zobrazena pouze křivka pro materiál s 0% recyklátu.



Obr. 3.3: Tvar a rozměry zkušebních těles pro zkoušku tahem [mm]

Tab. 3.9 Tahové vlastnosti vzorků v závislosti na množství recyklátu

DELIRIN 511P NC 010		
šarže	$\sigma_y = \sigma_B = \sigma_M$ [MPa]	ϵ_B [%]
0%	68,14 ± 0,95	8,30 ± 1,32
10%	67,29 ± 1,54	8,55 ± 2,21
20%	68,35 ± 0,58	9,31 ± 1,93
30%	68,78 ± 1,34	10,24 ± 3,07
50%	68,30 ± 1,05	9,78 ± 2,63
70%	68,13 ± 0,48	12,96 ± 2,85



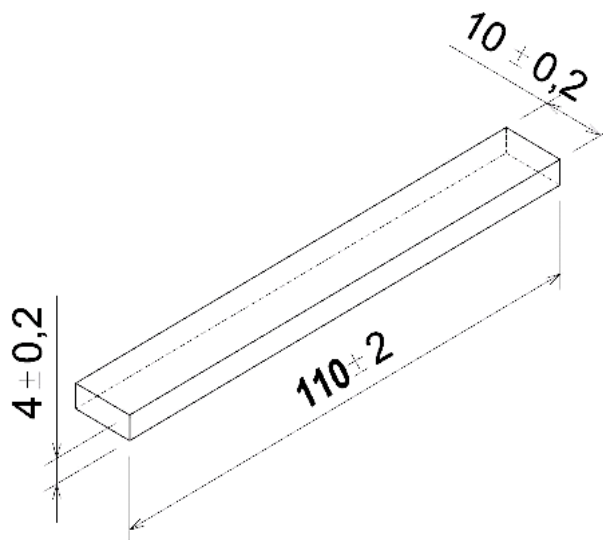
Obr. 3.4 Grafická závislost napětí v tahu na deformaci

3.5.2 Hodnocení ohybových vlastností [22]

Ohybová zkouška se používá k hodnocení chování zkušebních těles při namáháním ohybem. Lze s její pomocí určit pevnost v ohybu i další závislosti mezi napětím a deformací při stanovených podmínkách ČSN EN ISO 178.

Zkušební těleso s definovanými rozměry (viz obr. 3.5) bylo volně položeno na dvě podpěry a zatěžováno přitlačným trnem, jenž působil na těleso uprostřed rozpětí podpěr. Trn působil na zkušební těleso až do doby, než se dosáhlo předem stanovené hodnoty deformace (za mezí pevnosti v ohybu). Zkouška probíhala při konstantní rychlosti 2mm/min. V průběhu zkoušky byla pro všechny skupiny zkoušeného materiálu zaznamenávána závislost napětí v ohybu (σ_f) na deformaci ohybem (ϵ_f).

Ohybová zkouška byla prováděna na zkušebním stroji Hounsfield H 10 KT (viz obr. 3.5) se softwarem QMAT a počet zkušebních těles byl 10 kusů po šesti materiálových šaržích. Veškeré získané údaje k hodnocení ohybových vlastností jsou uvedeny v příloze 3 a výsledné hodnoty získané statistickým vyhodnocením jsou zaznamenány v tab. 3. 10. Jelikož dochází při grafickém znázornění závislosti napětí na deformaci (jako u zkoušky tahem) k překrývání křivek, je na obrázku 3.6 uvedena závislost pro 0% recyklátu.



Obr. 3.5 Zkušební zařízení Hounsfield H 10 KT, ohybové zkušební těleso

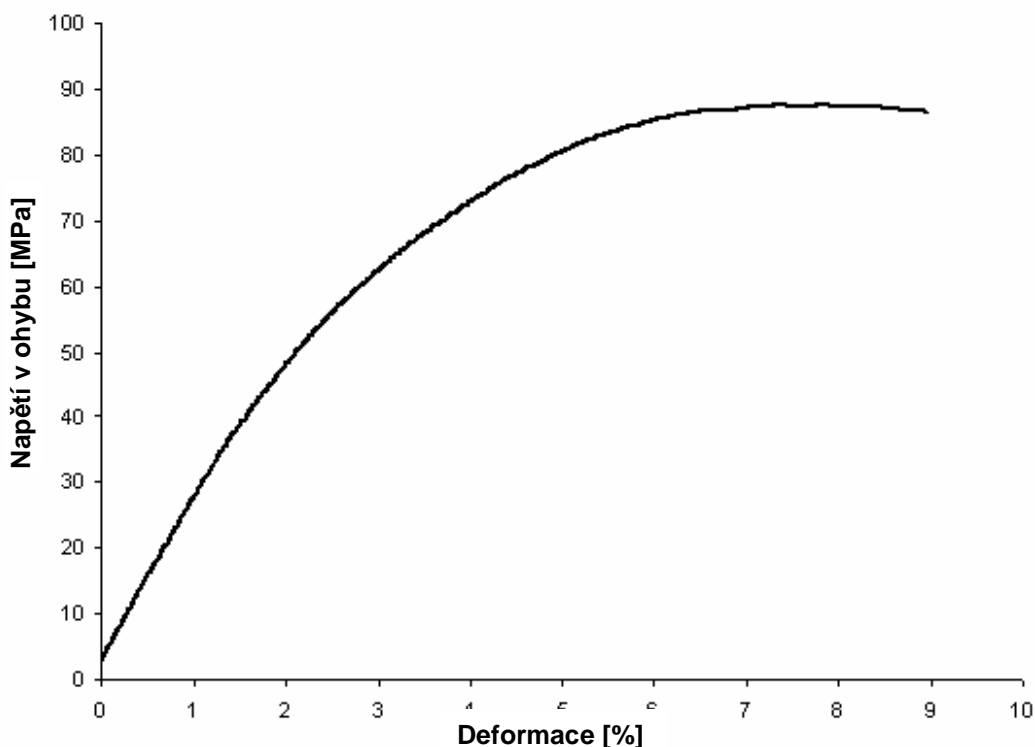
Pro každý vzorek ze všech materiálových šarží byly během průběhu ohybové zkoušky odečítány hodnoty napětí v ohybu při hodnotách deformace ohybem $\epsilon_{f1}=0,0005$ a $\epsilon_{f2}=0,0025$ a z nich pro každý vzorek vypočítán modul pružnosti v ohybu (viz vzorec 3.1).

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\epsilon_{f2} - \epsilon_{f1}} \quad (3.1)$$

kde E_f ... modul pružnosti v ohybu [MPa]
 σ_{f1} ... napětí v ohybu při deformaci ϵ_{f1} [MPa]
 σ_{f2} ... napětí v ohybu při deformaci ϵ_{f2} [Mpa]
 ϵ_{f1} ... deformace ohybem 0,05 [%]
 ϵ_{f2} ... deformace ohybem 0,25 [%]

Tab. 3.10 Ohybové vlastnosti vzorků v závislosti na množství recyklátu

DELIN 511P NC 010		
šarže	σ_f [MPa]	E_f [MPa]
0%	85,68 ± 0,78	2373,47 ± 56,05
10%	85,04 ± 0,48	2375,91 ± 41,61
20%	85,78 ± 0,72	2373,48 ± 40,02
30%	85,50 ± 0,63	2377,38 ± 52,80
50%	85,36 ± 0,82	2375,92 ± 69,37
70%	85,72 ± 0,81	2471,52 ± 71,01



Obr. 3. 6 Grafická závislost napětí v ohybu na deformaci

3.5.3 Hodnocení vrubové houževnatosti [23]

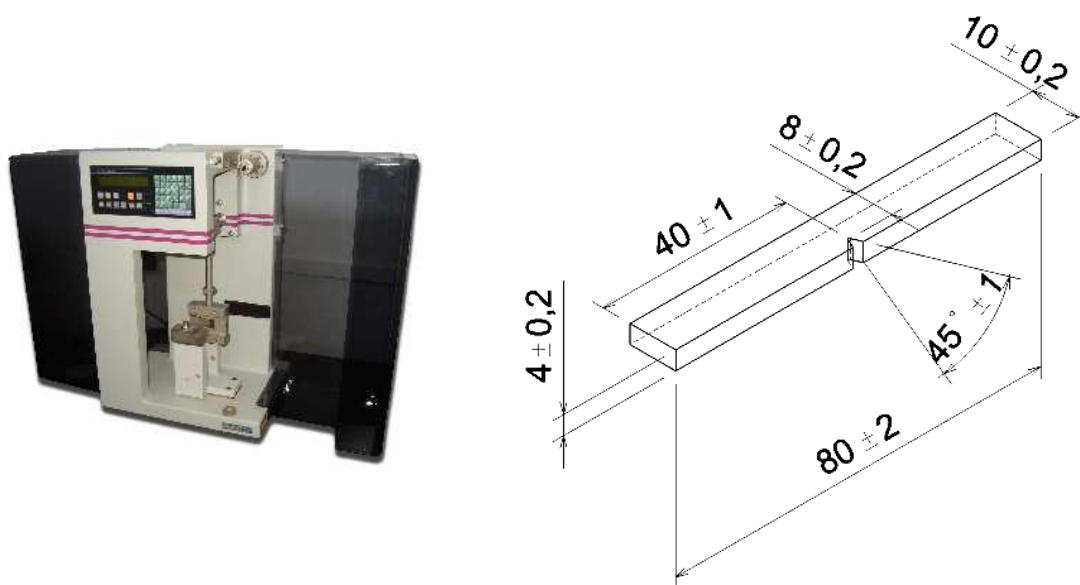
Častým parametrem hodnocení materiálů různého použití je rázová houževnatost (a_{cU}). Rázová houževnatost se stanovuje pro materiály, jenž se zlomí nárazem na zkušební těleso bez vrubu, pokud ovšem ke zlomení nedojde, je možné zeslabit zkušební těleso vrubem a v tomto případě zjišťujeme vrubovou, nikoliv rázovou, houževnatost (a_{cN} , $N=A, B, C$ dle typu vrubu). Stanovení rázové, resp. vrubové, houževnatosti je provedeno metodou Charpy. Stejně jako u předchozích zkoušek probíhá rázová zkouška ve stejném prostředí, ve kterém byla kondicionována i zkušební tělesa.

Před samotným započítáním zkoušky bylo nutné vyvážit a seřadit přístroj Ceast Resil 5.5 (viz obr. 3.7), aby při nárazu kladiva došlo k dotyku s celou tloušťkou zkušebního tělesa. Následoval ráz kladiva tzv. na slepo bez zkušebního tělesa k zjištění ztráty energie třením. K hodnocení vrubové houževnatosti bylo vybráno takové kladivo, aby hodnota energie spotřebovaná k přeražení zkušebního tělesa ležela vždy v toleranci 10% až

80% potenciální energie kladiva. K hodnocení rázových vlastností Charpy bylo použito rázové kladivo Resil 5.5 firmy CEAST S.p.A

Rázová houževnatost byla stanovena na zkušebních tělesech předepsaných rozměrů s vrubem normalizovaného tvaru typu A s poloměrem zaoblání 0,25mm (viz obr. 3.7) za podmínek dle ČSN EN ISO 179.

Rázové kladivo bylo zajištěno do výchozí pozice a zkušební těleso se umístilo vodorovně na podpěry tak, aby střed tělesa ležel v dráze kladiva a ráz působil proti vrubu. Po uvolnění kladiva bylo zkušební těleso přeraženo na užší straně rychlostí $2,9 \text{ m/s} \pm 10\%$. Všechna zkušební tělesa byla přeražena typem přeražení C (úplně).



Obr. 3.7 Zkušební zařízení Ceast Resil 5.5 a tvar zkušebního tělesa s vrubem

Pro každý zkušební vzorek se ze spotřebované energie k jeho přeražení vypočítala vrubová houževnatost (viz vzorec 3.2).

$$a_{CA} = \frac{W}{h \cdot b_N} \quad (3.2)$$

kde	a_{cA}	... vrubová houževnatost Charpy, typ vrubu A	[kJ/m ²]
	W	... energie spotřebovaná při přeražení tělesa	[J]
	h	... tloušťka zkušebního tělesa	[mm]
	b_N	... šířka zkušebního tělesa pod vrubem	[mm]

Celkový počet zkušebních těles byl 10 kusů po šesti šaržích. Všechny hodnoty, jež byly zkouškou získány (viz příloha 4): spotřebovaná energie, rázová houževnatost a skutečná rychlost při přeražení byly statisticky vyhodnoceny a průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.11.

Tab. 3.11 Rázové vlastnosti vzorků v závislosti na množství recyklátu

DELFIN 511P NC 010				
šarže	W [J]	a_{cA} [kJ/m²]	v [m/s]	E_n [J]
0%	0,18 ± 0,01	5,67 ± 0,18	2,880 ± 0,003	0,5
10%	0,19 ± 0,02	6,08 ± 0,78	2,880 ± 0,003	0,5
20%	0,18 ± 0,01	5,74 ± 0,47	2,880 ± 0,002	0,5
30%	0,19 ± 0,01	5,86 ± 0,45	2,880 ± 0,003	0,5
50%	0,07 ± 0,02	2,04 ± 0,70	2,880 ± 0,003	0,5
70%	0,08 ± 0,03	2,37 ± 0,94	2,880 ± 0,002	0,5

3.6 Hodnocení zabíhavosti materiálu spirálovou zkouškou

Posledním krokem, než-li jsme mohli přistoupit ke komplexnímu zhodnocení vlivu množství přidávaného recyklátu k panenskému materiálu na vlastnosti a kvalitu budoucího výrobku, bylo zhodnocení tokového chování materiálu, což nám umožnila technologická spirálová zkouška zabíhavosti. Spirálová zkouška je porovnávací metoda, která nám poskytne přehled o změně tokového chování



Obr. 3.8 Archimédova spirála

materiálu v závislosti na různém procentuelním zastoupení recyklátu v panenském materiálu a to při podmínkách, jež prakticky odpovídají podmínkám vlastního vstřikování.

Účelem zkoušky je stanovení zatékavosti zkoušeného materiálu v závislosti na zvolených technologických podmínkách, v tomto případě však na podílu recyklátu v polymerním materiálu při konstantních technologických podmínkách. Spirálová zkouška probíhala na šnekovém vstřikovacím stroji ENGEL ES 25/50, kdy byl roztavený materiál vstřikován při definovaných technologických podmínkách (viz tab. 3.12) do formy.

Dutina formy má tvar ploché Archimédovy spirály (viz obr. 3.8) s teoreticky nekonečnou délkou, konstantní šířkou (10mm) a výškou (2mm). Měřítkem, které nám určuje zabíhavost, je samotná dosažená délka Archimédovy spirály.

U zkoušeného materiálu Delrin 511P jsme získali vstřikováním materiálů se zvyšujícím se procentuelním množství recyklátu šest skupin po deseti spirálách, z nichž byl posouzen vliv recyklátu na zabíhavost zkoušeného materiálu. Zjištěné hodnoty včetně statistického vyhodnocení jsou zaznamenány v tab. 3.13.

Tab. 3.12 Technologické podmínky vstřikování pro spirálovou zkoušku

DELTRIN 511P NC 010						
množství recyklátu [%]	0	10	20	30	50	70
$T_I / T_{II} / T_{III}$ [°C]	170/170/160					
T_{tryska} [A]	6					
$t_{s1} + t_{s2}$ [s]	2	2	2	2	2	2
$t_v + t_d$ [s]	15	15	15	15	15	15
t_{ch} [s]	25	25	25	25	25	25
t_{pl} [s]	3	3	3	3	3	3
t_m [s]	7	7	7	7	7	7
$t_{celkové}$ [s]	52	52	52	52	52	52
$p_{vstř}$ [MPa]	2	2	2	2	2	2

Tab. 3.13 Naměřené hodnoty spirálovou zkouškou

DELFIN 511P NC 010						
vzorek č.	šarže					
	0%	10%	20%	30%	50%	70%
1	30,5	30,4	30,7	30,6	30,4	30,6
2	30,7	30,8	30,6	30,3	31,1	30,7
3	30,8	30,4	30,5	30,8	30,5	30,6
4	30,4	30,9	30,7	30,5	30,9	30,7
5	30,3	30,8	30,4	30,9	30,3	30,9
6	30,6	30,9	30,3	30,4	30,5	30,4
7	30,7	31,1	31,6	30,6	30,3	30,8
8	30,8	30,8	30,3	30,4	31,3	30,5
9	30,3	30,5	30,7	30,7	30,9	30,0
10	30,6	30,5	29,8	30,9	30,2	31,1
L[mm]	30,6 ± 0,18	30,7 ± 0,23	30,6 ± 0,43	30,6 ± 0,20	30,6 ± 0,36	30,6 ± 0,28

4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A JEJICH DISKUSE

Podobně jako v experimentální části bakalářské práce je vyhodnocení výsledků a jejich diskuse členěno na ekonomické a technologické hodnocení.

4.1 Vyhodnocení ekonomické analýzy

Vzhledem k tomu, že v průběhu řešení bakalářské práce bylo u dodavatele B zaznamenáno brzké ukončení výrobního programu, byla studie zhodnocení vratného polymerního odpadu řešena pouze pro vybraný materiál dodavatele A a z téhož důvodu je také zhodnocení věnováno pouze dodavateli A.

V průběhu ekonomické analýzy byly uvedeny tři možné způsoby opětovného využití vzniklého polymerního odpadu. Vzhledem k celkovému ekonomickému přínosu pro podnik je jistě nejlepší nabízenou možností varianta č.1. Docházelo by tedy k opětovnému využívání odpadu z panenského materiálu **Delrin 511P NC 010 s 2% černého barviva** ze stroje č. 23. Recyklační jednotka by byla umístěna u tohoto stroje a docílilo by se tak možných zisků **344 583,50 Kč** za rok. V případě zbývajících dvou variant se vyskytují problémy spojené s nutností úprav výrobního programu (např. zrušení barevného odlišení pravých a levých dílů) a získaly by se mnohem nižší úspory, než v případě varianty č.1.

První varianta tedy vyhovuje nejvíce a to jak z ekonomického hlediska, tak i z hlediska nenáročnosti na změnu výrobního programu. Další, byť nepatrné úspory, lze docílit prodejem odpadu výrobku vyrobeného již ze směsi obsahující recyklát. Uvedená práce se zabývala výhradně jedenkrátě využitím vratného odpadu, z důvodu popsaného v kap. 2.3.1.

Náklady spojené s testováním vlastností vzorků mimo mechanických, jež byly testovány v bakalářské práci, a s investicemi na zařízení (mlýny, mísiče, manipulátory, apod.) dosahují přibližné výše 449 100 Kč. **Návratnost** řešení tohoto projektu je **16 měsíců**.

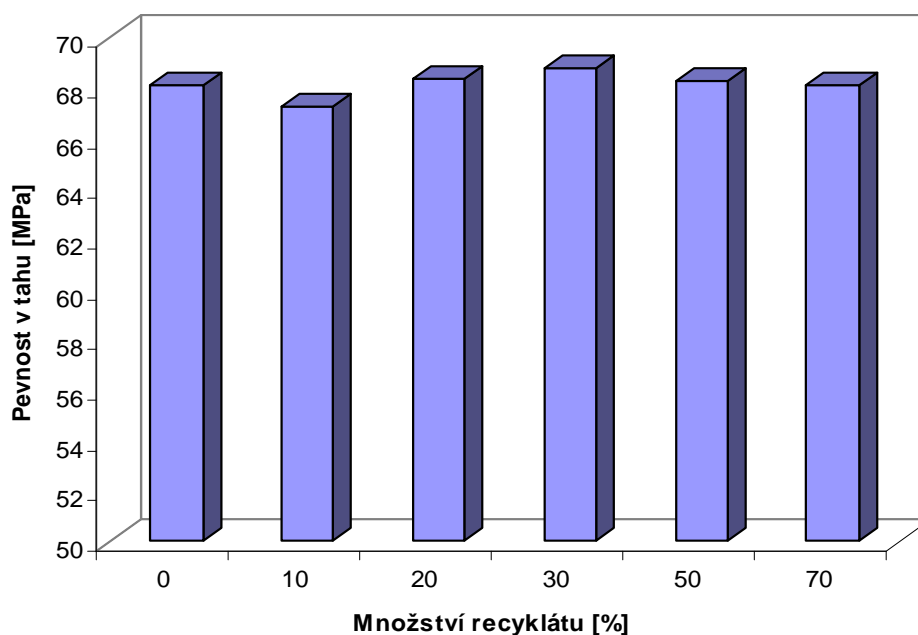
4.2 Vyhodnocení mechanických vlastností

Mechanické vlastnosti výstřiků v závislosti na procentuelním množství recyklátu v panenském materiálu byly stanoveny tahovou, ohybovou a rázovou zkouškou.

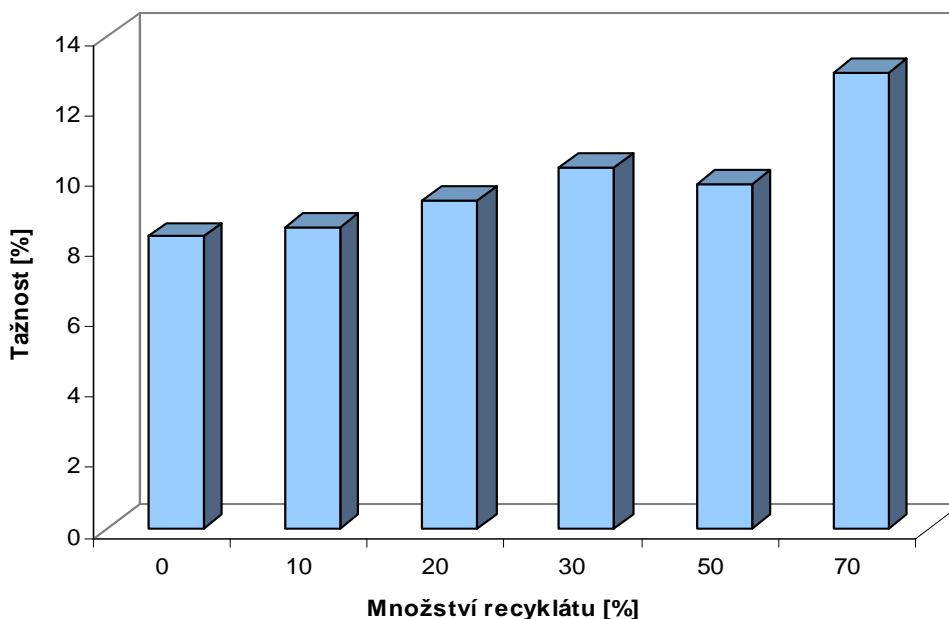
4.2.1 Tahové vlastnosti

Stanovení a hodnocení vlastností získaných zkouškou tahem proběhlo dle ČSN EN ISO 527-1. V průběhu zkoušky byla zaznamenána závislost napětí v tahu na poměrném prodloužení a z ní byly odečteny hodnoty napětí a prodloužení při přetržení. Tyto hodnoty jsou totožné s hodnotami na mezi pevnosti a jsou uvedeny v tab. 3.9 v závislosti na množství recyklátu.

Při hodnocení naměřených hodnot napětí v tahu při přetržení s ohledem na velikost jejich rozptylu, jenž je vyjádřen směrodatnou odchylkou, lze konstatovat, že zvyšující se množství recyklátu tyto hodnoty výrazně neovlivnilo (viz obr. 4.1), avšak tažnost, čili prodloužení při přetržení, se s vyšším množstvím recyklátu v panenském materiálu mírně zvýšila (viz obr. 4.2). Vzhledem k rozptylu naměřených hodnot (viz tab. 3.9) by bylo zapotřebí pro větší spolehlivost (přesnost) zvýšit počet zkušebních těles.



Obr. 4.1 Vliv recyklátu na pevnost v tahu



Obr. 4.2 Vliv recyklátu na tažnost

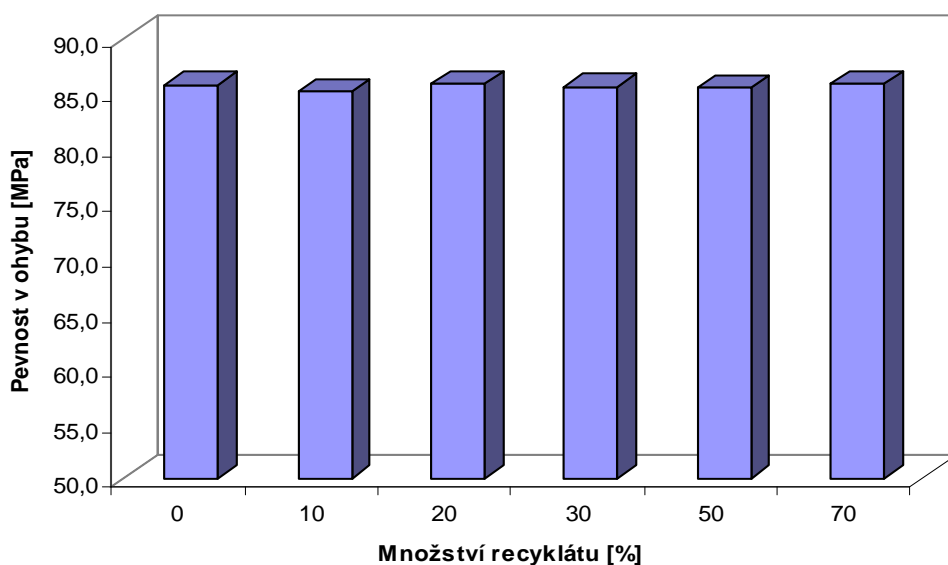
Nevýhodou zpracování polyoxymetyleny je jeho snadné tepelné štěpení při vyšších teplotách taveniny. Toto štěpení je kromě zápachu formaldehydu provázeno vznikem lunek, které se objevovaly také u některých vzorků v místě lomu tělesa a které tak mohly ovlivnit velikost rozptylů naměřených hodnot. Při nižší teplotě taveniny, než bylo použito k experimentálnímu měření, však byla shledána nehomogenita v objemu výstřiku (nedokonalé promíchání polymeru s barvicím koncentrátem). Z tohoto důvodu byla zvolena teplota (viz tab. 3.7 a tab. 3.8) odstraňující tuto nežádoucí skutečnost.

Uvedený rozptyl v naměřených vlastnostech může být rovněž zapříčiněn nevhodným (ručním) způsobem dávkování (odvažování) recyklátu s panenským materiálem. Vhodnějším způsobem by bylo využití gravimetrického či volumetrického způsobu dávkování, který by tak zlepšil rovněž homogenitu roztavené taveniny, tak jako možnost řízení zpětného tlaku při plastikaci nové dávky materiálu.

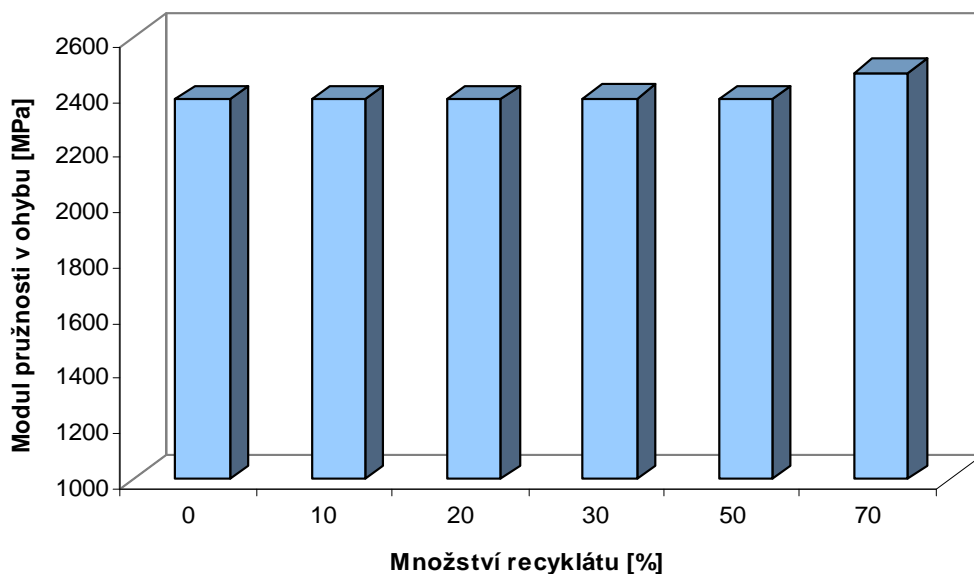
4.2.2 Ohybové vlastnosti

Ohybové vlastnosti byly stanoveny a hodnoceny dle ČSN EN ISO 178. V průběhu zkoušky docházelo k zaznamenávání pevnosti v tahu a byl počítán modul pružnosti v ohybu. Hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.10 v závislosti na množství recyklátu v panenském materiálu.

Hodnocením získaných údajů zkouškou ohybem a s ohledem na rozptyl výsledných hodnot (viz obr 4.3 a obr 4.4) lze říci, že zvyšující se množství recyklátu nemá téměř žádný vliv na výsledné ohybové vlastnosti.



Obr. 4.3 Vliv recyklátu na pevnost v ohybu

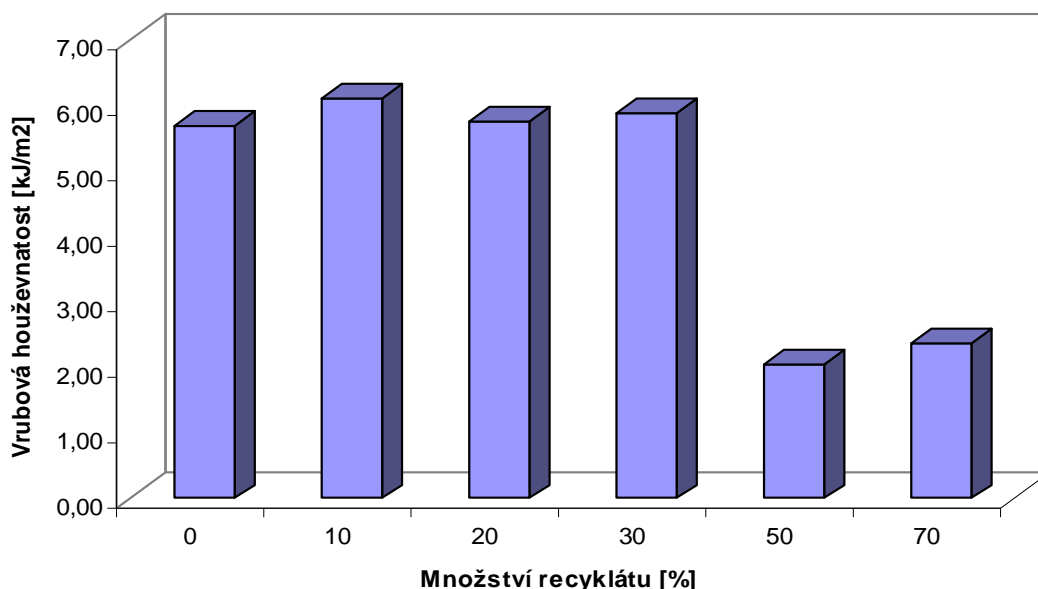


Obr. 4.4 Vliv recyklátu na modul pružnosti v ohybu

4.2.3 Vrubová houževnatost

Hodnocení vlastností výstřiků bylo provedeno i rázovou zkouškou provedenou na zkušebním tělese s normovaným vrubem typu A dle ČSN EN ISO 179. Výsledné hodnoty vrubové houževnatosti v závislosti na obsahu recyklátu v panenském materiálu získané rázovou zkouškou jsou vyjádřeny na obr. 4.5.

Z grafického vyjádření (viz obr. 4.5) a tab. 3.11 je zřejmé, že do hodnoty 30% přidávaného recyklátu, nedochází ke změně vrubové houževnatosti budoucího výrobku. Ovšem při hodnotě 50% a 70% recyklátu došlo k poklesu energie spotřebované k přeražení zkušebního tělesa a tím také vrubové houževnatosti.

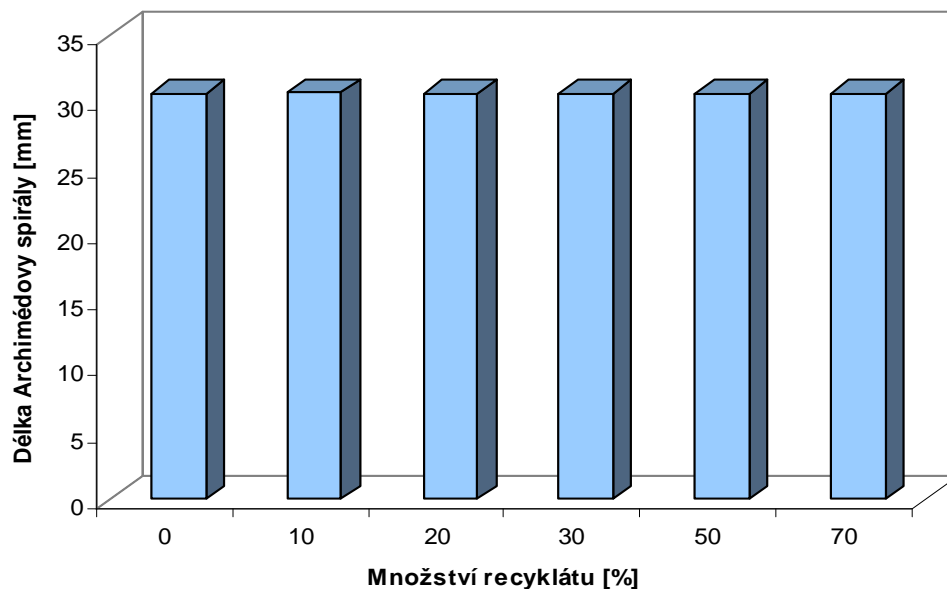


Obr. 4.5 Vliv recyklátu na vrubovou houževnatost

4.2.4 Spirálová zkouška zabíhavosti

Posledním krokem bylo hodnocení reologie taveniny spirálovou zkouškou zabíhavosti. Jak je však patrné z grafického (viz obr. 4.6) i statistického (viz tab. 3.13) hodnocení, nedochází ke změně hodnoty zabíhavosti vlivem zvyšujícího se procentuelního zastoupení recyklátu v panenském materiálu.

Avšak při bližším vizuálním hodnocení je na některých vzorcích, nejen u této zkoušky, patrný pokles povrchového lesku, což může být následkem uvolňovaného formaldehydu materiálu Delrin (POM) při vyšších teplotách taveniny a používáním vstřikovacího stroje a šneku bez odplyňovací zóny.



Obr. 4.6 Vliv recyklátu na spirálovou zkoušku zabíhavosti

5 ZÁVĚR

V automobilovém průmyslu se na výrobky z polymerních materiálů kladou vysoké nároky, což jsou mimo jiné velmi dobré mechanické vlastnosti výrobků s co nejdelší jejich životností. Proto pro konkrétní výrobek velmi důležitá volba materiálů.

Současně s tím je požadováno zajištění odpovídající hospodárnosti výroby, s čímž se pojí i hledání různých cest, které by vedly ke snižování nákladů spojených s výrobou polymerních komponentů. Jedním z možných způsobů je i opětovné využívání odpadu z polymerních výrobků. Tento způsob je podrobněji rozebírán v bakalářské práci jak z ekonomického, tak i technologického hlediska. Při samotném hodnocení recyklace po stránce ekonomické bylo za přijatelnou hodnotu recyklátu v panenském materiálu uvažováno 5%-15% (viz kap. 2.1). Avšak v samotné experimentální části bylo prokázáno, že do 30% recyklátu u zvoleného materiálu nedocházelo k významným změnám ve vlastnostech výrobku. Z tohoto důvodu by přispělo ke zvýšení hospodárnosti výroby využití variant zpracování polymerního odpadu, kde by se využívalo více jak 15% recyklátu obsaženého v panenském materiálu (viz kap. 3.1.1), ale jejichž nevýhodou byla změna v organizaci pracoviště (layoutu výrobního provozu).

Vzhledem ke skutečnosti, že se vybraný materiál využívá dodavatelem k výrobě součástek do automobilových klimatizačních systémů, je důležité zjistit, do jaké míry jsou mechanické vlastnosti ovlivněny zvyšujícím se procentuelním množstvím recyklátu v panenském materiálu. Hodnocení mechanických vlastností bylo provedeno tahovou zkouškou dle ČSN EN ISO 527-1, ohybovou zkouškou dle ČSN EN ISO 178 a rázovou zkouškou pomocí zkušebních těles s normalizovaným vrubem dle ČSN EN ISO 179. Zkoumané vzorky byly rozděleny do šesti šarží dle množství recyklátu.

Z experimentálního měření je zřejmé, že nedochází k žádným znatelným změnám tahových a ohybových vlastností. Stejně tak nebyla zpozorována žádná patrná změna rázových vlastností do 30% přidávaného recyklátu. Při vyšším procentuelním zastoupení recyklátu v panenském materiálu došlo k poklesu vrubové houževnatosti.

Mimo mechanických zkoušek byl zjišťován i vliv rostoucího množství recyklátu na zabíhavost taveniny porovnávací spirálovou zkouškou. Hodnoty zabíhavosti však i při vysokém podílu recyklátu v panenském materiálu zůstávaly konstantní.

Z této studie vyplývá, že při používání recyklátu do 30%, nedošlo k zásadnímu ovlivnění mechanických vlastností a tím zůstává stálá i bezpečnost budoucích výrobků. Návratnost nákladů na projekt zhodnocení vratného odpadu je předpokládána za 16 měsíců. Pro další směr výzkumu by jistě bylo také zajímavé zabývat se studií vlivu uvolňovaného formaldehydu na celkovou kvalitu výrobku.

LITERATURA

- [1] <http://plastiquarian.com/parkes.htm> (březen 2006)
- [2] <http://valeo.jobs.cz> (duben 2006)
- [3] DLUHOŠ, J.: Materiály a technologie : Plasty a vybrané nekovové materiály. Ostrava : Pedagogická fakulta OU, 1994. 119s. ISBN 80-7042-073-1.
- [4] KREBS, J.: Teorie zpracování nekovových materiálů – část 1. Liberec : TU v Liberci, 2001. 250s.
- [5] TOMIS, F.: Zužitkování a odstraňování polymerních odpadů. Pardubice : Dům techniky ČVTS Pardubice, 1972. 119s.
- [6] <http://www.vke.de> (duben 2006)
- [7] <http://www.hnutiduha.cz/publikace/studie> (duben 2006)
- [8] <http://envi.upce.cz> (březen 2006)
- [9] SOVA, A. - KREBS, J.: *Termoplasty v praxi*. Praha : Verlag Dashöfer Nakladatelství spol. s r.o. v Praze, 1999-2004, ISBN 80-86229-15-7.
- [10] LENFELD, P.: Technologie 2 : Zpracování plastů. Liberec : TU v Liberci, 2006. 139s. ISBN 80-7372-037-X.
- [11] http://www.boco.cz/cz/produkty_2_pancerovani_ost_plochy.asp (duben 2006)
- [12] KREBS, J.: Teorie a technologie zpracování plastů. Liberec: Severografia v Liberci, 1981. 341s.
- [13] <http://motan.com> (duben 2006)
- [14] http://www.pallmann-online.de/seiten_eng/kunststoff (duben 2006)
- [15] <http://www.pesl.cz/cz/technlg.htm> (březen 2006)
- [16] <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/tzn.htm> (květen 2006)
- [17] MIKOLÁŠ, J.: Recyklace průmyslových odpadů. Praha: Nakladatelství technické literatury v Praze, 1988. 168s.
- [18] <http://plastics.dupont.com> (duben 2006)
- [19] http://www.ul-asia.com/news_nl/2003-Issue07/page5.htm (duben 2006)
- [20] Materiálový list polymeru Delrin 511P NC 010 (duben 2006)
- [21] ČSN EN ISO 527-1
- [22] ČSN EN ISO 178
- [23] ČSN EN ISO 179

PŘÍLOHY

bakalářské práce

Příloha 1: Hodnoty k vypracování ekonomické analýzy

Příloha 2: Naměřené hodnoty ze zkoušky tahem

Příloha 3: Naměřené hodnoty ze zkoušky ohybem

Příloha 4: Naměřené hodnoty ze zkoušky vrubové houževnatosti

<i>název výrobku</i>	<i>materiál plast</i>	<i>přídavná barva [g]</i>	<i>hmotnost brutto [g]</i>	<i>hmotnost netto [g]</i>	<i>násobnost</i>	<i>uzavírací síla [t]</i>	<i>doba cyklu [s]</i>	<i>počet kusů / h</i>	<i>počet kusů za rok</i>	
Came distribution v/f ins left LHD	Delrin 511P NC 010 natur		22,77	19,19	4	150	35	411	1280796	14
Gear-vratné balení	Delrin 511P NC 010 natur		5,97	4,1	4	40	32	450	213667	2
Came distribution v/f ins right LHD	Delrin 511P NC 010 natur	černá	17,34	15,91	4	100	35	411	1280796	14
Came distribution v/f out right LHD	Delrin 511P NC 010 natur	černá	26,29	22,33	4	150	50	288	1280796	20
Gear LHD	Delrin 511P NC 010 natur	černá	5,03	3,77	4	45	34	424	346429	4
Lever defrost flap 2-zone LHD	Zytel 101L NC 010 natur	modrá	7,6	5,89	4	45	38	379	586110	7
Lever defrost flap RHD	Zytel 101L NC 010 natur	fialová	5,91	4,03	4	80	29	497	134590	1
Lever defrost flap 1-zone LHD	Zytel 101L NC 010 natur	červená	8,73	5,63	4	45	38	379	560096	7
Swing lever temp. flap LH RHD	Zytel 101L NC 010 natur	zelená	11,23	8,66	2	40	24	300	30402	0
Lever temp. flap LH RHD	Zytel 101L NC 010 natur	žlutá	8,62	6,62	4	50	23	626	327409	2
Swing lever, temp flap LH LHD	Zytel 101L NC 010 natur		16,35	13,63	4	100	31	465	52159	0
Lever temp. flap right	Zytel 101L NC 010 natur	černá	4,26	3,21	2	45	34	212	720700	15
Lever recirc. flap RHD	Zytel 101L NC 010 natur	černá	4,91	4,02	4	50	25	576	134590	1
Couple lever temp. flap, LH RHD	Zytel 70G30HSL NC 010 natur	žlutá	3,43	3,09	4	50	25	576	327409	3
Couple lever temp. flap left RHD	Zytel 70G30HSL NC 010 natur	zelená	7,83	6,77	4	100	30	480	30402	0
Couple lever defrost flap Climatronic LHD	Zytel 70G30HSL NC 010 natur	modrá	9,3	8,33	4	80	35	411	586110	6
Couple lever defrost RHD clim.	Zytel 70G30HSL NC 010 natur	fialová	8,11	7,41	2	100	29	248	134590	2
Couple lever temp. flap,right	Zytel 70G30HSL BK 039 B černý		4,97	4,33	4	100	28	514	720700	6
Couple lever vent. rear RHD	Zytel 70G30HSL BK 039 B černý		5,4	3,85	4	45	22	655	357811	2

Tab. P1 Základní hodnoty pro vypracování ekonomické analýzy dodavatele A

Tab. P2 Hodnoty odpadu za den s ideálním množ. recyklatu pro dodavatele A

číslo řádku	název výrobku	třída materiálu	typ materiálu	barva	hmotnost brutto/cyklus [g]	hmotnost netto/cyklus [g]	násobnost	číslo stroje	počet kusů za rok	odpad/den [g]	20%/den	
1	Came distribution v/f ins right LHD	POM	Delrin 511P NC 010 natur	černý	69,4	63,6	4	29	1280796	22209,0	4441,8	8,2
2	Came distribution v/f out right LHD		Delrin 511P NC 010 natur	černý	105,2	89,3	4	23	1280796	33675,3	6735,1	15,1
3	Gear LHD		Delrin 511P NC 010 natur	černý	20,1	15,1	4	3	346429	1743,4	348,7	25,0
4	Came distribution v/f ins left LHD		Delrin 511P NC 010 natur		91,1	76,8	4	25	1280796	29157,3	5831,5	15,7
5	Gear-vratné balení		Delrin 511P NC 010 natur		23,9	16,4	4	5	213667	1276,2	255,2	31,4
6	Adapter blower motor RHD	PP	Hostacom XM2U34		37,4	32,6	1	12	42565	1591,9	318,4	12,8
7	Swing lever, temp flap LH LHD	PA66	Zytel 101L NC 010 natur		65,4	54,5	4	26	52159	852,9	170,6	16,6
8	Lever temp. flap LH RHD		Zytel 101L NC 010 natur	žlutý	34,5	26,5	4	1	327409	2823,1	564,6	23,2
9	Swing lever temp. flap LH RHD		Zytel 101L NC 010 natur	zelený	22,5	17,3	2	4	30402	341,4	68,3	22,9
10	Lever defrost flap 2-zone LHD		Zytel 101L NC 010 natur	modrý	30,4	23,6	4	4	586110	4451,5	890,3	22,4
11	Lever defrost flap RHD		Zytel 101L NC 010 natur	fialový	23,7	16,1	4	12	134590	795,8	159,2	31,8
12	Lever defrost flap 1-zone LHD		Zytel 101L NC 010 natur	červený	34,9	22,5	4	3	560096	4889,6	977,9	35,5
13	Lever temp. flap right		Zytel 101L NC 010 natur	černý	8,5	6,4	2	4	720700	3066,6	613,3	24,7
14	Lever recirc. flap RHD		Zytel 101L NC 010 natur	černý	19,7	16,1	4	4	134590	661,2	132,2	18,1
15	Couple lever temp. flap, right	PA66-G30	Zytel 70G30HSL BK 039 B černý		19,9	17,3	4	28	720700	3583,7	716,7	12,9
16	Couple lever vent. rear RHD		Zytel 70G30HSL BK 039 B černý		21,6	15,4	4	5	357811	1933,1	386,6	28,7
17	Couple lever temp. flap, LH RHD		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	žlutý	13,7	12,3	4	29	327409	1123,0	224,6	10,1
18	Couple lever temp. flap left RHD		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	zelený	31,3	27,1	4	29	30402	237,9	47,6	13,5
19	Couple lever defrost flap LHD		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	modrý	37,2	33,3	4	29	586110	5450,8	1090,2	10,4
20	Couple lever defrost RHD clim.		Zytel 70G30HSL NC 010 natur	fialový	16,2	14,8	2	29	134590	1090,9	218,2	8,6

<i>název výrobku</i>	<i>typ materiálu</i>	<i>ENGEL typ stroje</i>	<i>stroj č.</i>	<i>násobnost</i>	<i>hrubá hmotnost/cyklus (g)</i>	<i>čistá hmotnost /ks (g)</i>	<i>čistá hmotnost/cyklus (g)</i>	<i>hmotnost vtoku (g)</i>	<i>odpad/ks (g)</i>	
Klapka boční L	Exxtral CMW 402 šedý	ES 330/80	1	4	77,7	10,8	43,2	34,5	8,6	583162
Vzduchová klapka P	Exxtral HMU 404 černý	ES 650/125	2	2	70,5	26	52	18,5	9,3	340627
Vzduchová klapka L				2	68,5	25	50	18,5	9,3	340627
Klapka boční P	Exxtral HMU 404 černý	ES 330/80	1	2	31,3	10,5	21	10,3	5,2	98092
Klapka vstupu vzduchu L ref.	Exxtral HMU 404 černý	ES 500/100	3	4	93,2	16,5	66	27,2	6,8	583162
Klapka vstupu vzduchu P ref.	Exxtral HMU 404 černý	ES 500/100	3	4	94,4	16,8	67,2	27,2	6,8	98092
Klapka recirkulace ref.663110S	Exxtral HMU 404 černý	ES 500/100	3	4	173	32,5	130	43	10,8	340627
Klapka centrální ref.664773Z	Altech PA 6 A černý	ES 500/100	3	4	76,9	10,6	42,4	34,5	8,6	340627

Příloha 2: Naměřené hodnoty ze zkoušky tahem

Tab.P4 Hodnoty naměřené při zkoušce tahem

DELTRIN 511P NC 010		
Vzorek č.	$\sigma_B = \sigma_M$ [MPa]	ϵ [%]
0%		
1	68,70	10,80
2	68,00	8,52
3	67,30	7,22
4	67,70	8,30
5	65,80	5,54
6	69,10	9,24
7	68,80	8,38
8	68,90	8,96
9	68,30	7,40
10	68,80	8,69
průměrná hodnota	68,14 ± 0,95	8,30 ± 1,32
10%		
1	67,40	8,34
2	66,60	7,52
3	68,80	9,92
4	65,90	5,51
5	68,60	12,30
6	67,00	6,24
7	62,70	4,66
8	68,00	10,82
9	67,70	9,41
10	66,80	8,04
11	68,40	11,80
12	69,10	10,20
13	67,20	7,32
14	67,90	7,67
průměrná hodnota	67,29 ± 1,54	8,55 ± 2,21
20%		
1	67,80	8,35
2	69,10	9,58
3	68,10	8,66
4	68,00	7,81
5	67,40	7,32
6	68,50	7,43
7	68,20	10,62
8	68,70	13,82
9	67,80	7,52
10	69,20	9,88
11	69,10	11,38
průměrná hodnota	68,35 ± 0,58	9,31 ± 1,93

Tab.P5 Hodnoty naměřené při zkoušce tahem

DELRIN 511P NC 010		
Vzorek č.	$\sigma_B = \sigma_M$ [MPa]	ϵ [%]
30%		
1	69,00	12,40
2	65,00	5,34
3	70,20	10,08
4	69,80	9,48
5	68,90	10,33
6	67,70	6,65
7	69,80	10,42
8	69,80	17,22
9	68,40	14,15
10	68,80	8,46
11	69,40	8,40
průměrná hodnota	68,76 ± 1,34	10,24 ± 3,07
50%		
1	69,20	12,56
2	69,10	9,84
3	68,70	9,54
4	69,30	11,33
5	68,60	9,02
6	67,30	6,00
7	68,80	12,64
8	69,00	14,90
9	66,70	7,58
10	67,10	6,54
11	69,10	8,96
12	66,10	6,50
13	68,90	11,76
průměrná hodnota	68,3 ± 1,05	9,78 ± 2,63
70%		
1	70,00	13,73
2	69,10	10,06
3	68,90	15,42
4	68,20	12,88
5	68,60	9,90
6	69,20	9,72
7	69,70	11,50
8	68,80	15,73
9	69,10	12,12
10	69,40	9,56
11	69,60	17,30
12	68,90	17,60
průměrná hodnota	68,13 ± 0,48	12,96 ± 2,85

Příloha 3: Naměřené hodnoty ze zkoušky ohybem

Tab. P6 Hodnoty naměřené ohybovou zkouškou

DELFIN 511P NC 010		
vzorek č.	σ_f [MPa]	E [MPa]
0%		
1	85,00	2413,46
2	84,60	2325,69
3	86,20	2501,22
4	86,20	2413,46
5	85,20	2237,93
6	85,60	2325,69
7	86,40	2413,46
8	86,80	2413,46
9	85,20	2389,08
10	86,60	2325,69
průměrná hodnota	85,68 ± 0,78	2373,47 ± 56,05
10%		
1	85,4	2413,46
2	85,2	2325,69
3	85,4	2413,46
4	84,8	2325,69
5	85,2	2389,08
6	85,6	2413,46
7	84,2	2325,69
8	85,6	2389,08
9	84,4	2413,46
10	84,6	2325,69
průměrná hodnota	85,04 ± 0,48	2375,91 ± 41,61
20%		
1	85,0	2413,46
2	84,6	2325,69
3	86,2	2501,22
4	86,2	2413,46
5	85,2	2237,93
6	85,6	2325,69
7	86,4	2413,46
8	86,8	2413,46
9	85,2	2389,08
10	86,6	2325,69
průměrná hodnota	85,78 ± 0,72	2373,48 ± 40,02

Tab. P7 Hodnoty naměřené ohybovou zkouškou

DELFIN 511P NC 010		
vzorek č.	σ_f [MPa]	E [MPa]
30%		
1	86,8	2413,46
2	84,4	2389,08
3	85,2	2389,08
4	85,4	2237,93
5	86,2	2413,46
6	85,4	2325,69
7	85,8	2413,46
8	85,2	2389,08
9	85,6	2413,46
10	85,0	2389,08
průměrná hodnota	85,50 ± 0,63	2377,38 ± 52,80
50%		
1	85,2	2413,46
2	84,6	2325,69
3	84,6	2413,46
4	85,4	2237,93
5	85,0	2325,69
6	84,2	2325,69
7	87,0	2501,24
8	85,8	2413,46
9	85,4	2413,46
10	86,4	2389,08
průměrná hodnota	85,36 ± 0,82	2375,92 ± 69,37
70%		
1	84,8	2237,92
2	86,4	2325,69
3	87,2	2457,34
4	84,8	2325,69
5	86,2	2413,46
6	85,8	2457,34
7	86,4	2389,08
8	85,2	2325,69
9	85,8	2457,34
10	84,6	2325,69
průměrná hodnota	85,72 ± 0,81	2471,52 ± 71,01

Příloha 4: Naměřené hodnoty ze zkoušky vrubové houževnatosti

Tab.P8 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou

DELFIN 511P NC 010			
vzorek č.	W [J]	Acu [kJ/m²]	v [m/s]
0%			
1	0,18	5,72	2,880
2	0,19	5,81	2,880
3	0,17	5,41	2,880
4	0,18	5,63	2,880
5	0,19	5,97	2,875
6	0,18	5,56	2,880
7	0,18	5,66	2,880
8	0,19	5,91	2,885
9	0,17	5,44	2,880
10	0,18	5,56	2,875
průměrná hodnota	0,18 ± 0,01	5,67 ± 0,18	2,880 ± 0,003
10%			
1	0,19	5,81	2,880
2	0,19	5,78	2,880
3	0,23	7,31	2,875
4	0,25	7,88	2,880
5	0,18	5,66	2,885
6	0,18	5,69	2,880
7	0,19	5,78	2,880
8	0,18	5,63	2,880
9	0,18	5,75	2,875
10	0,18	5,47	2,880
průměrná hodnota	0,19 ± 0,02	6,08 ± 0,78	2,880 ± 0,003
20%			
1	0,18	5,72	2,880
2	0,18	5,66	2,880
3	0,18	5,56	2,875
4	0,22	6,84	2,880
5	0,16	4,94	2,885
6	0,20	6,09	2,880
7	0,18	5,72	2,880
8	0,18	5,72	2,880
9	0,17	5,34	2,880
10	0,19	5,78	2,880
průměrná hodnota	0,18 ± 0,01	5,74 ± 0,47	2,880 ± 0,002

Tab.P9 Naměřené hodnoty rázovou zkouškou

DELFIN 511P NC 010			
vzorek č.	W [J]	Acu [kJ/m²]	v [m/s]
30%			
1	0,23	7,09	2,880
2	0,19	5,88	2,875
3	0,17	5,31	2,880
4	0,18	5,72	2,880
5	0,19	6,03	2,880
6	0,18	5,72	2,885
7	0,19	5,78	2,880
8	0,19	5,81	2,880
9	0,18	5,47	2,875
10	0,19	5,78	2,880
průměrná hodnota	0,19 ± 0,01	5,86 ± 0,45	2,880 ± 0,003
50%			
1	0,06	1,91	2,875
2	0,11	3,38	2,880
3	0,05	1,56	2,875
4	0,06	1,88	2,880
5	0,04	1,16	2,880
6	0,06	1,75	2,880
7	0,06	1,91	2,880
8	0,04	1,34	2,885
9	0,10	3,25	2,880
10	0,07	2,31	2,880
průměrná hodnota	0,07 ± 0,02	2,04 ± 0,70	2,880 ± 0,003
70%			
1	0,04	1,38	2,880
2	0,07	2,16	2,880
3	0,10	3,09	2,885
4	0,05	1,50	2,880
5	0,10	3,00	2,875
6	0,06	1,75	2,880
7	0,13	3,97	2,880
8	0,06	1,97	2,880
9	0,04	1,22	2,880
10	0,12	3,66	2,880
průměrná hodnota	0,08 ± 0,03	2,37 ± 0,94	2,880 ± 0,002

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 26.5.2006

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my bachelor work or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 26.5.2006

Signature